

**KONSERVASI ENERGI PADA GEDUNG KANTOR PUSAT  
PT PETROKIMIA GRESIK MELALUI  
REKAYASA DESAIN SELUBUNG BANGUNAN**

**SKRIPSI**

**PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR  
LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**





**LEMBAR PENGESAHAN****KONSERVASI ENERGI PADA GEDUNG KANTOR PUSAT  
PT PETROKIMIA GRESIK MELALUI REKAYASA  
DESAIN SELUBUNG BANGUNAN****SKRIPSI**

PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR  
LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI BANGUNAN

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**EDI JAMAL ABDILLAH**  
**NIM. 125060500111001**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 21 Desember 2018



Mengetahui,  
Ketua Program Studi Sarjana Arsitektur

Ir. Heru Sufianto, M.Arch.St., Ph.D.  
NIP. 19650218 199002 1 001

Dosen Pembimbing

Wasiska Iyati, ST., MT.  
NIK 201304 870504 2 001

64

## UCAPAN TERIMA KASIH

*Melalui tulisan ini, saya akan menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua yang telah membantu saya dalam menyelesaikan tahap sarjana ini. Khususnya kepada;*

- 1. Bapak saya, Qodri, yang telah senantiasa berpeluh dan bersusah payah demi kebaikan masa depan saya. Serta keluarga yang selalu mendukung, memotivasi, mendoakan, dan membantu saya dalam penyelesaian skripsi.*
- 2. Ibu Wasiska Iyati, ST., MT, selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan skripsi saya dan meluangkan waktunya untuk memberikan arahan dan motivasi baik dalam penyusunan skripsi ini maupun hal lain yang berkenan;*
- 3. Bapak Ir. Jusuf Thojib, MSA dan Ibu Eryani Nurma Yulita, ST., MT., M.Sc, selaku dosen penguji yang telah membantu memberikan kritik dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini;*
- 4. Seluruh dosen serta staff Akademik Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, serta teman-teman seperjuangan di bangku perkuliahan yang telah berbagi langkah untuk menuju masa depan. Baik dari angkatan 2010, 2011, 2012, 2013 hingga 2014;*
- 6. Bapak Agus, Mas Fahmi, serta jajarannya selaku tim teknis PT Graha Sarana yang mengelola gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik. Sungguh saya merasa terbantu sekali atas ijin dan kesempatannya saat melakukan penelitian.*
- 7. Teman-teman, kerabat, serta semua orang yang mungkin atas ijin Tuhan telah membantu saya baik secara langsung maupun tidak langsung.*

*Akhir kata, penulis senantiasa berharap kepada Allah SWT, semoga keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan kepada saya akan dibalas kebaikan pula oleh-Nya, pahala akan ilmu yang bermanfaat yang akan terus mengalir bahkan di kubur kelak nanti. Amin, Ya Rabbal Alamin.*

*Hormat terdalam saya,*

***Edi Jamal Abdillah***

### PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur –unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

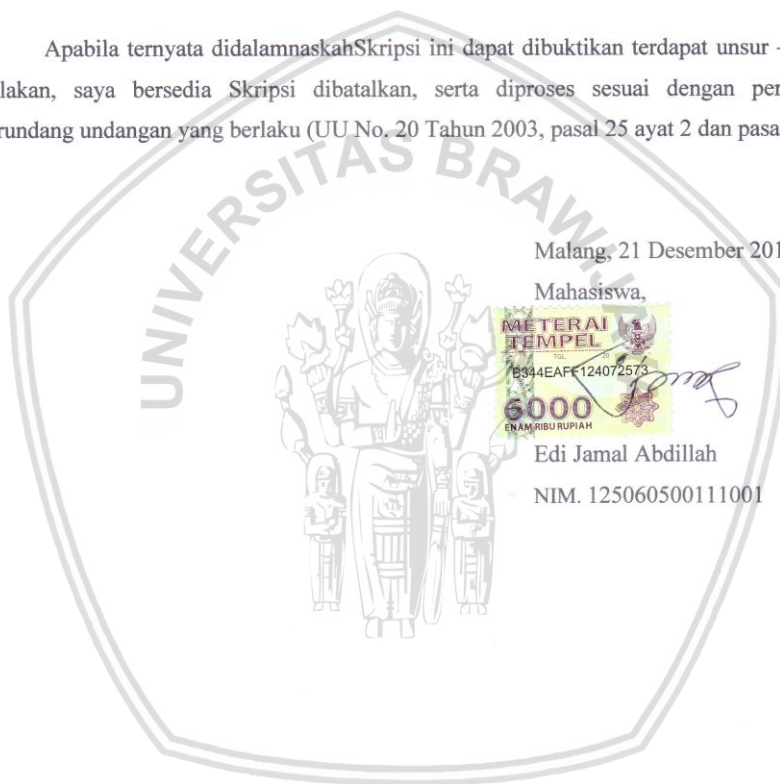
Malang, 21 Desember 2018

Mahasiswa,



Edi Jamal Abdillah

NIM. 125060500111001





TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : L253/JUN10. F07.15/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

**EDI JAMAL ABDILLAH**

Dengan Judul Skripsi :

**KONSERVASI ENERGI PADA GEDUNG KANTOR PUSAT PT PETROKIMIA  
GRESIK MELALUI REKAYASA DESAIN SELUBUNG BANGUNAN**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **21 Desember 2018**

Dr.

Ketua Jurusan Arsitektur

Dr. Eng. Herry Santosa, ST., MT  
NIP. 19730525 200003 1 004

Ketua Program Studi S1 Arsitektur

Ir. Heru Sufianto, M.Arch, St., Ph.D  
NIP. 19650218 199002 1 001



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN ARSITEKTUR

Jl. Mayjend Haryono No. 167 MALANG 65145 Indonesia

Telp. : +62-341-567486 ; Fax : +62-341-567486

<http://arsitektur.ub.ac.id>

E-mail : arsfub@ub.ac.id

LEMBAR HASIL  
DETEKSI PLAGIASI SKRIPSI

Nama : Edi Jamal Abdillah  
NIM : 125060500111001  
Judul Skripsi : Konservasi Energi pada Gedung Kantor Pusat PT Petrokimia  
Gresik Melalui Rekayasa Desain Selubung Bangunan  
Dosen Pembimbing : Wasiska Iyati, ST., MT.  
Periode Skripsi : Semester Ganjil 2018-2019  
Alamat Email : edijamalabdillah@gmail.com

Tanggal	Deteksi Plagiasi ke-	Plagiasi yang terdeteksi (%)	Ttd Petugas Plagiasi
22. Desember 2018	1	9 %	
	2		
	3		

Malang, .....

Mengetahui,

Dosen Pembimbing

Wasiska Iyati, ST., MT.  
NIK. 201304 870504 2 001

Kepala Laboratorium  
Dokumentasi Dan Tugas Akhir

Ir. Chairil Budianto Amuza, MSA  
NIP.19531231 198403 1 009

Keterangan:

1. Batas maksimal plagiasi yang terdeteksi adalah sebesar 20%
2. Hasil lembar deteksi plagiasi skripsi dilampirkan bagian belakang setelah surat Pernyataan Orisinalitas dan Sertifikat Bebas Plagiasi

64





## RINGKASAN

**Edi Jamal Abdillah**, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2018, *Konservasi Energi Pada Gedung Kantor Pusat PT Petrokimia Gresik Melalui Rekayasa Desain Selubung Bangunan*, Dosen Pembimbing: Wasiska Iyati.

Tingginya kebutuhan energi mengharuskan langkah penghematan energi termasuk pada bangunan gedung komersil. Gedung PT Petrokimia Gresik memiliki orientasi dengan sisi bujur terpanjang menghadap ke arah barat dan timur, dimana pembagian *double loaded* mengakibatkan ruang-ruang kerja berada tepat pada sisi tersebut. Pengolahan selubung bangunan menggunakan bukaan transparan dengan proporsi mencapai 80%. Tidak nampak adanya penggunaan media bayang sehingga sinar matahari langsung diterima dan mengakibatkan tingginya temperatur. Hal ini mengakibatkan diperlukannya unit-unit pendingin tambahan yang akhirnya berdampak pada besarnya penggunaan energi.

Metode dalam penelitian ini menggunakan metode deskriptif evaluatif digunakan untuk menguraikan secara ril kondisi eksisting serta mengukur dan mengkaji pola penggunaan energi. Penjabaran kondisi eksisting objek studi dilakukan secara observasi maupun wawancara, sedang pengukuran energi digunakan metode audit energi yang mengacu pada prosedur audit energi SNI 6196:2011. Selanjutnya digunakan metode eksperimental dalam mengkaji rekomendasi. Pendekatan arsitektural dilakukan langkah rekayasa desain selubung bangunan serta simulasi dengan menggunakan *software* untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang memungkinkan, sedang dalam pendekatan teknis dilakukan langkah rekalkulasi penggunaan energi.

Hasil audit energi rinci didapatkan IKE yang mencapai  $261 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$  dimana angka tersebut berada di atas standar nasional maupun internasional. Aspek yang mendominasi penggunaan energi secara keseluruhan adalah sistem pendinginan dengan besar konsumsi total mencapai  $2.070.785 \text{ kWh/tahun}$  atau setara  $188,19 \text{ kWh/year/m}^2$ . Berdasarkan beberapa masukan, analisis, dan simulasi, didapatkan 3 alternatif terbaik untuk olah selubung yakni penggantian material transparan dengan sistem *double glazing* ber-coating Spectrally Selective, Media bayang overhang kombinasi celah vertikal, dan selubung ganda bermaterial masif dan transparan. Selanjutnya alternatif terbaik tersebut dikombinasikan menjadi alternatif baru dimana hasil terbaik adalah kombinasi *double glazing* spectrally dengan selubung ganda. Alternatif ini mampu memberikan efisiensi penurunan mencapai 3,18% dengan rata-rata mencapai 2,26%. Adapun dikombinasikan dengan penggantian peralatan berbasis hemat energi, hasil penghematan total mencapai 41,1%. Dari keseluruhan langkah yang telah dilakukan, dihasilkan penghematan konsumsi energi dari  $2.872.061 \text{ kWh/tahun}$  menjadi  $1.690.982,14 \text{ kWh/tahun}$ . Angka IKE akhir setelah dilakukan rekomendasi adalah sebesar  $153,67 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$ , angka tersebut 41,1% lebih hemat dari sebelumnya  $261 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$ .

Kata Kunci : Konservasi Energi, Gedung Kantor, Selubung Bangunan

## SUMMARY

**Edi Jamal Abdillah**, Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, December 2018, Energy Conservation at Head Office Building of PT Petrokimia Gresik through Building Envelope Design, Academic Supervisor: Wasiska Iyati.

*The high energy demand constrains to regulate energy conservation including commercial buildings. The PT Petrokimia Gresik building is located in such orientation which the longest sides of the building are facing to west and east direction which always receiving the annual rays of the sun. The double-loaded division locates the work spaces along the side of the building. Building envelope uses transparent material with a proportion reaching 80%. There is no provision of shading devices used to prevent direct sunlight. This causes the increasing of heat inside. Therefore, addition of refrigeration units are needed and causes the large amounts of energy use.*

*The methods used in this research are evaluative descriptive method and experimental method. Evaluative descriptive used to describe the existing conditions, to measure and also review the patterns of energy use. The explanation of the existing condition of the object carried out by observation and interview, while measuring the energy refers to the SNI 6196: 2011 energy audit procedure as an energy audit method. Experimental method used to analyze and simulate recommendations. The architectural approach is carried out in the steps of making alternative designs and also using software to find out what is possible, while the technical approach is carried out in the steps of recalculating the energy use.*

*The result of detailed audit said that IKE's reached 261 kWh/m<sup>2</sup>/year, the numbers were above national and international standards. The dominating aspect of energy use is cooling system with a large total of 2,070,785 kWh/year or equivalent to IKE 188.19 kWh/m<sup>2</sup>/year. Based on points of inputs, analyzes, and simulations, found the 3 best alternatives which are to adjust transparent material with a double glazing and Spectrally Selective coating system, shading devices that contain overhangs with combination of vertical slits, and double skin that using combination of massive and transparent material. Next, Those 3 alternatives are combined into new alternatives and the best one is the combination between adjusting transparent material with a double glazing Spectrally Selective coating system and double skin that using combination of massive and transparent material. This alternative is able to provide a decrease in efficiency of 3.18% with an average of 2.26%. With a combination of technical approach, the total yield reaches 41.1%. Of all the steps taken, the energy use can be reduced from 2,872,061 kWh/year becomes 1,690,982.14 kWh/year. The final IKE after the recommendation is 153.67 kWh/m<sup>2</sup>/year, the number is 41.1% more efficient than the previous 261 kWh/m<sup>2</sup>/year.*

**Key Words :** Energy Conservation, Office Building, Building Envelope

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **Konservasi Energi pada Gedung Kantor Pusat PT Petrokimia Gresik Melalui Rekayasa Desain Selubung Bangunan**. Penulisan skripsi ini ditujukan untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana bagi mahasiswa program S-1 di Jurusan Arsitektur Universitas Brawijaya.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih yang bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai.

Terlepas dari itu semua, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu, dengan tangan terbuka penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 21 Desember 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>i</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>ii</b>
<b>SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI.....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>LEMBAR HASIL DETEKSI PLAGIASI SKRIPSI.....</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Rumusan Masalah .....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Kontribusi Penelitian .....	4
1.7 Sistematika Pembahasan .....	5
1.8 Kerangka Pemikiran.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Konservasi Energi .....	7
2.2 Tinjauan Arsitektur Hemat Energi .....	7
2.3 Tinjauan Penghematan Energi Pada Bangunan Kantor .....	9
2.3.1 Low Energy Office (LEO) .....	9
2.3.2 Zero Energy Office (ZEO) .....	14
2.4 Audit Energi Pada Bangunan Kantor .....	17
2.4.1 Audit energi singkat ( <i>walk through audit</i> ) .....	19
2.4.2 Audit energi awal ( <i>preiminary audit</i> ).....	19
2.4.3 Audit energi rinci ( <i>detail audit</i> ).....	20
2.5 Konsevasi Energi Pada Bangunan Kantor.....	22
2.5.1 Konservasi energi sistem tata udara .....	22
2.5.2 Konservasi energi pada sistem pencahayaan.....	26
2.6 Tinjauan Penelitian Terdahulu .....	30
2.7 Kerangka Teori.....	32
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Metode Umum .....	33
3.2 Metode Audit Energi.....	33
3.2.1 Audit Energi Singkat.....	33
3.2.2 Audit Energi Rinci .....	34
3.3 Analisis Rekomendasi .....	36
3.4 Simulasi Rekomendasi .....	36
3.5 Hasil Kajian.....	36
3.6 Kerangka Metode Penelitian .....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>38</b>
4.1 Gambaran Umum Gedung Kantor Pusat PT Petrokimia Gresik .....	38
4.1.1 Aspek Lingkungan dan Tapak.....	39
4.1.2 Aspek Bangunan .....	40

4.1.3 Aspek Utilitas Bangunan.....	51
4.2 Audit Energi Gedung Perkatoran PT Petrokimia Gresik.....	58
4.2.1 Audit Energi Singkat.....	58
4.2.2 Audit Energi Rinci.....	62
4.2.3 Hasil Audit Energi.....	77
4.3 Analisis Rekomendasi Peluang Konservasi Energi.....	81
4.3.1 Simulasi Eksisting Objek Studi.....	83
4.3.2 Analisis Rekomendasi Arsitektural .....	95
4.3.2 Rekomendasi Teknis .....	147
4.4 Rekomendasi Terpilih dan Indeks Konsumsi Energi Akhir.....	152
4.5 Desain Akhir Rekomendasi.....	155
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>157</b>
5.1 Kesimpulan.....	157
5.2 Saran.....	158
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>160</b>

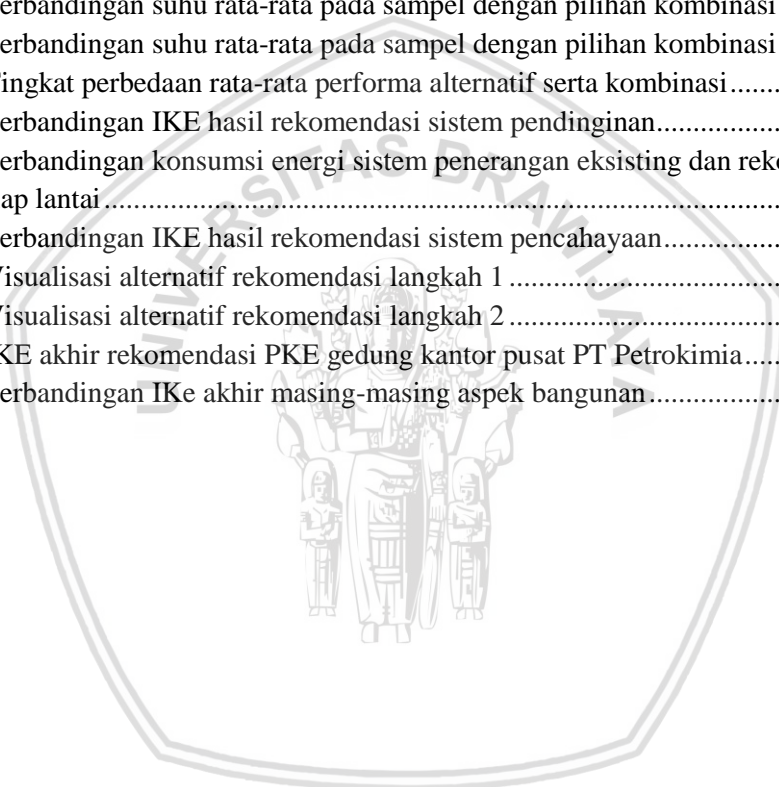


## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 1. 1	Diagram kerangka pemikiran .....	6
Gambar 2. 1	Perbandingan penghematan energi pada bangunan LEO Sumber : .....	13
Gambar 2. 2	Penghematan energi pada berbagai varian EE Sumber : .....	14
Gambar 2. 3	Pengolahan selubung bangunan pada kasus ZE Sumber : .....	15
Gambar 2. 4	Perbandingan penghematan energi pada bangunan kantor Sumber : .....	17
Gambar 2. 5	Bagan alur proses audit energi Sumber : SNI 6196:2011 .....	18
Gambar 2. 6	Diagram Kerangka Teori .....	32
Gambar 3. 1	Diagram kerangka pemikiran .....	37
Gambar 4. 1	Tampak gedung PT Petrokimia Gresik dari telaga Ngipik .....	38
Gambar 4. 2	Peta kawasan sekitar gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik .....	39
Gambar 4. 3	Lingkungan gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik .....	40
Gambar 4. 4	Komposisi pemakaian ruang kantor pusat PT Petrokimia Gresik .....	40
Gambar 4. 5	komposisi pemakaian ruang yang disewa oleh Graha Sarana .....	41
Gambar 4. 6	Bentuk massa bangunan gedung kantor pusat PT Petrokimia .....	42
Gambar 4. 7	Sudut jurusan masing-masing bukaan bangunan terhadap sudut jurusan utara 0 ....	43
Gambar 4. 8	Tampak bukaan pada selubung belakang bangunan .....	44
Gambar 4. 9	Tampak depan gedung kantor Petrokimia Gresik yang menghadap arah barat .....	45
Gambar 4. 10	Tampak belakang gedung kantor Petrokimia Gresik yang menghadap arah timur ..	45
Gambar 4. 11	Denah bangunan lantai dasar .....	46
Gambar 4. 12	Denah bangunan lantai 1 .....	47
Gambar 4. 13	Denah bangunan lantai 2 .....	47
Gambar 4. 14	Denah bangunan lantai tipikal 3-8 .....	48
Gambar 4. 15	Denah bangunan lantai 9 .....	48
Gambar 4. 16	Potongan bangunan pada podium dan tower .....	49
Gambar 4. 17	Potongan bangunan pada tower .....	49
Gambar 4. 18	Potongan ruang kerja utama .....	50
Gambar 4. 19	Potongan ortogonal ruang kerja utama .....	51
Gambar 4. 20	1) Tirai tabir surya dan 2) Rumah lampu penerangan general .....	51
Gambar 4. 21	Rencana titik lampu lantai dasar .....	52
Gambar 4. 22	Rencana titik lampu lantai 1 .....	53
Gambar 4. 23	Rencana titik lampu lantai 2 .....	53
Gambar 4. 24	Rencana titik lampu lantai tipikal 3-7 .....	54
Gambar 4. 25	Rencana titik lampu lantai 8 .....	54
Gambar 4. 26	Unit chiller yang diletakkan di atas ruang ME .....	55
Gambar 4. 27	1) Supply Duct yang ditanam pada plafon koridor dan 2) Return Duct pada area samping mendekati bukaan .....	55
Gambar 4. 28	Rencana ducting AC podium .....	56
Gambar 4. 29	Rencanan ducting AC lantai tipikal .....	56
Gambar 4. 30	Mesin lift pada gedung kantor .....	57
Gambar 4. 31	Rooftop yang disewakan untuk BTS operator seluler .....	58
Gambar 4. 32	IKE historis gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik .....	61
Gambar 4. 33	Seruan untuk berhemat energi pada gedung kantor PT Petrokimia .....	62
Gambar 4. 34	Ilustrasi penerangan alami yang terjadi pada ruang kerja .....	64

Gambar 4. 35	Ilustrasi penggunaan tirai tabir surya untuk menghalau sinar langsung.....	64
Gambar 4. 36	Tingkat konsumsi penggunaan listrik untuk pencahayaan di setiap lantai.....	66
Gambar 4. 37	Perbandingan Ike pencahayaan gedung kantor PT Petrokimia.....	67
Gambar 4. 38	Konsumsi masing-masing jenis penerangan buatan.....	67
Gambar 4. 39	Intensitas konsumsi energi penerangan per meter persegi di setiap lantai .....	69
Gambar 4. 40	Ilustrasi radiasi panas matahari langsung yang masuk ke dalam bangunan .....	70
Gambar 4. 41	Ilustrasi radiasi panas langsung matahari yang tertahan pada material perimeter bangunan .....	71
Gambar 4. 42	Tingkat konsumsi penggunaan listrik untuk pendinginan di setiap lantai .....	72
Gambar 4. 43	Perbandingan IKE pendinginan gedung kantor PT Petrokimia.....	73
Gambar 4. 44	Konsumsi masing-masing jenis pendinginan buatan.....	73
Gambar 4. 45	Tingkat konsumsi listrik untuk penggunaan peralatan kantor .....	76
Gambar 4. 46	Perbandingan IKE penggunaan peralatan kantor gedung PT Petrokimia.....	77
Gambar 4. 47	Tingkat konsumsi listrik untuk penggunaan peralatan kantor di setiap lantai.....	77
Gambar 4. 48	Diagram pembagian energi listrik keseluruhan gedung kantor PT Petrokimia .....	78
Gambar 4. 49	Pembagian porsi aspek pada setiap lantai.....	78
Gambar 4. 50	IKE audit energi gedung kantor pusat PT Petrokimia .....	79
Gambar 4. 51	Perbandingan IKE gedung kantor PT Petrokimia dengan beberapa standar berdasarkan studi mengenai Low Energy Building.....	79
Gambar 4. 52	Selubung bangunan yang menyelubungi ruang-ruang kerja.....	82
Gambar 4. 53	Bukaan bangunan terhadap arah edar matahari .....	83
Gambar 4. 54	Pembagian sampel simulasi.....	84
Gambar 4. 55	Ketinggian bidang kerja serta ketinggian di atas bidang kerja yang direkomendasikan pada ruang kerja sampel .....	84
Gambar 4. 56	Denah ortogonal sampel 1 .....	85
Gambar 4. 57	Denah ortogonal sampel 2 .....	86
Gambar 4. 58	Denah ortogonal sampel 3 .....	87
Gambar 4. 59	Denah ortogonal sampel 4 .....	88
Gambar 4. 60	Perbandingan suhu rata-rata pada sampel bangunan eksisting .....	92
Gambar 4. 61	Elemen penyusun bidang bukaan bangunan eksisting.....	96
Gambar 4. 62	Perbandingan antara single glazing pada eksisting dan double glazing .....	97
Gambar 4. 63	Perbandingan pengolahan glazing dan coating Sumber : .....	98
Gambar 4. 64	Ilustrasi kinerja seleksi sinar yang terjadi pada coating film (eksisting), Low-E, dan Spectrally .....	98
Gambar 4. 65	Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan material coating Low-E.....	102
Gambar 4. 66	Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan material coating Spectrally selective.....	105
Gambar 4. 67	Perbandingan ilustrasi pengolahan media bayang internal, eksternal, dan gabungan .....	108
Gambar 4. 68	Anaslisi pertimbangan proporsi pembayangan, penerusan cahaya, serta penerusan visual terhadap selubung bangunan utama bangunan berdasarkan keteraturan ketinggian .....	108
Gambar 4. 69	Perbandingan besar proporsi pada sampel 1.....	113
Gambar 4. 70	Perbandingan besar proporsi pada sampel 2.....	113
Gambar 4. 71	Perbandingan besar proporsi pada sampel 3.....	114
Gambar 4. 72	Perbandingan besar proporsi pada sampel 4.....	114

Gambar 4. 73 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan media bayang horizontal.....	118
Gambar 4. 74 Perbandingan ilustrasi penggunaan bidang vetikal masif dengan bidang vertikal bercelah .....	119
Gambar 4. 75 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan overhang horizontal dengan bidang celah vertikal.....	124
Gambar 4. 76 Perbandingan pengolahan selubung ganda masif, selubung ganda transparan, dan gabungan.....	127
Gambar 4. 77 Analisis pertimbangan jarak antar selubung bangunan dengan selubung kedua bangunan berdasarkan keteraturan ketinggian .....	127
Gambar 4. 78 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan selubung ganda masif dan transparan .....	132
Gambar 4. 79 Tingkat perbedaan rata-rata performa alternatif.....	133
Gambar 4. 80 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel dengan pilihan kombinasi 1 .....	138
Gambar 4. 81 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel dengan pilihan kombinasi 2 .....	142
Gambar 4. 82 Tingkat perbedaan rata-rata performa alternatif serta kombinasi.....	144
Gambar 4. 83 Perbandingan IKE hasil rekomendasi sistem pendinginan.....	148
Gambar 4. 84 Perbandingan konsumsi energi sistem penerangan eksisting dan rekomendasi tiap lantai .....	151
Gambar 4. 85 Perbandingan IKE hasil rekomendasi sistem pencahayaan.....	152
Gambar 4. 86 Visualisasi alternatif rekomendasi langkah 1 .....	153
Gambar 4. 87 Visualisasi alternatif rekomendasi langkah 2 .....	153
Gambar 4. 88 IKE akhir rekomendasi PKE gedung kantor pusat PT Petrokimia.....	154
Gambar 4. 89 Perbandingan IKE akhir masing-masing aspek bangunan.....	154

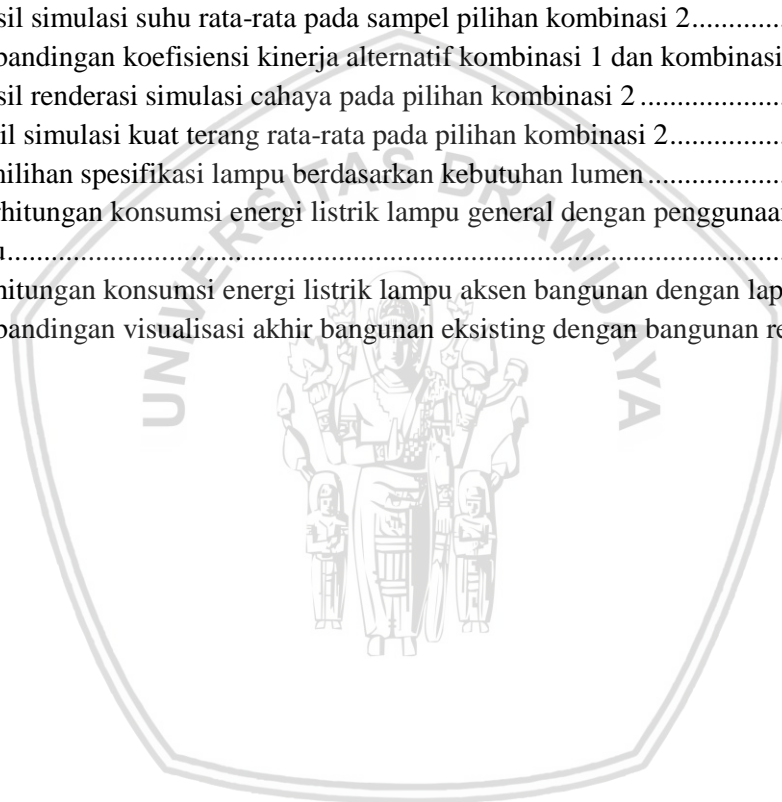




## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2. 3	Tingkat pencahayaan rata-rata, renderas, dan temperatur warna yang direkomendasikan.....	27
Tabel 2. 4	Daya listrik maksimum untuk pencahayaan .....	27
Tabel 2. 5	iluminans dan beban pencahayaan terpasang per meter persegi .....	28
Tabel 2. 6	Perbandingan efikasi luminus dari lampu yang umum .....	29
Tabel 2. 7	Komparasi penelitian terdahulu.....	30
Tabel 4. 1	Pemakai ruang pada gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik .....	41
Tabel 4. 2	Penggunaan listrik gedung tahun 2016 .....	59
Tabel 4. 3	Penggunaan listrik gedung tahun 2017 .....	59
Tabel 4. 4	Pengukuran kuat terang cahaya kkondisi eksisting.....	63
Tabel 4. 5	Konsumsi energi listrik untuk penggunaan pencahayaan bangunan .....	65
Tabel 4. 6	Konsumsi energi listrik untuk penggunaan pendinginan bangunan.....	71
Tabel 4. 7	Konsumsi energi listrik untuk penggunaan transportasi bangunan .....	75
Tabel 4. 8	Konsumsi energi listrik untuk penggunaan peralatan perkantoran .....	75
Tabel 4. 9	Masukan hasil observasi dan audit energi serta peluang penghematan yang memungkinkan .....	80
Tabel 4. 10	Sudut datang cahaya dan cerlang cahaya yang terjadi pada sampel 1.....	85
Tabel 4. 11	Sudut datang cahaya serta cerlang cahaya yang terjadi pada sampel 2.....	86
Tabel 4. 12	Sudut datang cahaya dan cerlang cahaya yang terjadi pada sampel 3.....	88
Tabel 4. 13	Sudut datang cahaya serta cerlang cahaya yang terjadi pada sampel 4.....	89
Tabel 4. 14	Hasil rederasi simulasi suhu pada sampel bangunan eksisting.....	89
Tabel 4. 15	Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel bangunan eksisting .....	91
Tabel 4. 16	Hasil renderasi simulasi cahaya pada sampel bangunan eksisting .....	92
Tabel 4. 17	Hasil kuat terang rata-rata pada sampel bangunan eksisting.....	94
Tabel 4. 18	Visualisasi sampel dengan penggunaan penggantian coating rekomendasi.....	99
Tabel 4. 19	Hasil renderasi simulasi suhu pada penggunaan material coaling Low-E .....	100
Tabel 4. 20	Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel menggunakan material coating Low-E ...	102
Tabel 4. 21	Hasil renderasi simulasi suhu pada penggunaan material coating Spectrally .....	103
Tabel 4. 22	Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel menggunakan material coating Spectrally.....	104
Tabel 4. 23	Perhitungan efisiensi performa penggunaan alternatif material .....	105
Tabel 4. 24	Besaran proporsi penggunaan shading device 80 cm.....	109
Tabel 4. 25	Besaran proporsi penggunaan shading gevice 90 cm.....	110
Tabel 4. 26	Besaran proporsi penggunaan shading device 100 cm.....	112
Tabel 4. 27	Visualisasi sampel dengan penggunaan overhang horizontal .....	115
Tabel 4. 28	Hasil renderasi simulasi suhu pada penggunaan overhang horizontal .....	116
Tabel 4. 29	Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel menggunakan media bayang horizontal..	118
Tabel 4. 30	Sudut bidang celah terhadap sudut jatuh sinar pada masing-masing sampel .....	119
Tabel 4. 31	Visualisasi sampel dengan penggunaan overhang horizontal dengan bidang celah vertikal.....	121
Tabel 4. 32	Hasil renderasi simulasi suhu pada penggunaan overhang horizontal dengan bidang celah vertikal .....	122
Tabel 4. 33	Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel menggunakan overhang kombinasi celah vertikal.....	124

Tabel 4. 34 Perbandingan efisiensi performa alternatif dengan penggunaan media bayang .....	125
Tabel 4. 35 Visualisasi sampel dengan penggunaan selubung ganda masif dan transparan .....	128
Tabel 4. 36 Hasil renderasi simulasi suhu pada penggunaan selubung ganda masif dan transparan .....	129
Tabel 4. 37 Hasil simulasi rata-rata pada sampel mengunkakan selubung ganda masif dan transparan .....	131
Tabel 4. 38 Perhitungan koefisiensi kinerja alternatif dengan penggunaan selubung ganda masif dan transparan .....	132
Tabel 4. 39 Visualisasi sampel dengan pilihan kombinasi 1 .....	135
Tabel 4. 40 Hasil renderasi simulasi suhu pada pilihan kombinasi 1 .....	136
Tabel 4. 41 Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel pilihan kombinasi 1 .....	138
Tabel 4. 42 Visualisasi sampel dengan penggunaan alternatif kombinasi 2 .....	139
Tabel 4. 43 Hasil renderasi simulasi suhu pada sampel pilihan kombinasi 2 .....	140
Tabel 4. 44 Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel pilihan kombinasi 2 .....	142
Tabel 4. 45 Perbandingan koefisiensi kinerja alternatif kombinasi 1 dan kombinasi 2 .....	143
Tabel 4. 46 Hasil renderasi simulasi cahaya pada pilihan kombinasi 2 .....	144
Tabel 4. 47 Hasil simulasi kuat terang rata-rata pada pilihan kombinasi 2 .....	146
Tabel 4. 48 Pemilihan spesifikasi lampu berdasarkan kebutuhan lumen .....	149
Tabel 4. 49 Perhitungan konsumsi energi listrik lampu general dengan penggunaan lampu baru .....	150
Tabel 4. 50 Perhitungan konsumsi energi listrik lampu aksen bangunan dengan lapu baru .....	151
Tabel 4. 51 Perbandingan visualisasi akhir bangunan eksisting dengan bangunan rekomendasi ..	155







## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Permintaan manusia akan energi listrik semakin meningkat. Hal ini dipicu semakin berkembangnya peradaban manusia di era teknologi. Indonesia sebagai negara berkembang kini menduduki posisi tertinggi di Asia Tenggara dengan konsumsi energi mencapai 44% total kebutuhan energi di kawasan tersebut. Penggunaan energi listrik di Indonesia mencapai 200 TWh di tahun 2015 dan diperkirakan mencapai angka 520 TWh di tahun 2025 (OEI2016).

Salah satu sektor pengguna energi listrik tertinggi adalah bangunan komersil. Hampir 83% kebutuhan energi yang digunakan di dalamnya adalah energi listrik. Laju kenaikan konsumsi energi ditaksir mencapai 7-8% tiap tahun (OEI2016). Penggunaan energi pada sebuah bangunan erat kaitannya dengan teknologi yang diadakan didalamnya sebagai bentuk adaptasi lingkungan untuk mencapai kenyamanan beraktivitas didalamnya. Teknologi yang kerap digunakan dalam bangunan komersil umumnya dibagi atas sistem pencahayaan (*Lighting*), sistem penghawaan (*Cooling*), transportasi serta elemen lainnya. Pola operasional teknologi tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim di luar bangunan serta perilaku aktivitas pengguna di dalam bangunan. Tak heran apabila bangunan yang berada di lingkungan dengan iklim ekstrim serta intensitas pengguna yang tinggi memerlukan energi yang lebih tinggi pula.

Salah satu kota yang memiliki kesibukan hiruk pikuk perindustrian dengan iklim pesisir yang cukup ekstrim adalah Kota Gresik. Secara klimatologi, Kota Gresik memiliki iklim tropis lembab dengan suhu rata-rata 27,5°C. Salah satu kota penyangga ekonomi Jawa Timur ini telah memiliki 1.423 industri besar maupun kecil. Imbasnya, pertumbuhan bangunan komersil semakin meningkat seiring perkembangan tersebut. Banyak bangunan komersil yang berdiri bersandingan dengan pabrik-pabrik raksasa. Salah satunya adalah Gedung PT Petrokimia Gresik yang merupakan gedung direksi salah satu perusahaan pupuk terbesar di Indonesia.

Gedung PT Petrokimia terletak di kawasan industri Petrokimia tepatnya di Jalan Ahmad Yani, Gresik. Meskipun dalam satu kawasan, namun gedung ini terletak pada site yang berbeda dengan site pabrik utama PT Petrokimia. Terdiri dari podium dengan fungsi *convention hall* dan tower dengan fungsi kantor dengan tinggi mencapai 9 lantai. Gedung ini beroperasi pada hari kerja Senin sampai Jumat dari pukul 07.00 sampai dengan pukul

16.00 sore. Adapun jam operasional tambahan diberlakukan berdasarkan kebutuhan tertentu, termasuk pada akhir pekan.

Secara orientasi, gedung PT Petrokimia terletak membujur dengan sisi terpanjang menghadap ke arah timur dan barat. Ruang dalam bangunan menerapkan tata ruang *double loaded*. Secara tidak langsung penataan ini membagi ruang kerja utama pada sisi terpanjang bangunan. Panjang bangunan mencapai 60 meter di sisi barat dan 75 meter di sisi timur. Sedang sisi terpendek bangunan yang menghadap ke sisi utara dan selatan memiliki panjang 20 meter. Peletakkan orientasi tersebut mengindikasikan bahwa sisi terpanjang bangunan menerima radiasi sinar matahari tahunan lebih banyak daripada sisi terpendek bangunan.

Selubung pada sisi terpanjang bangunan menggunakan material *laminated glass* dengan dimensi yang lebar serta menerus dari lantai 1 hingga ke lantai 9. Proporsi bukaan mencapai 80% dari luas area permukaan sisi panjang bangunan. Tidak terdapat adanya media bayang atau *shading device* baik horizontal maupun vertikal untuk menaungi bukaan yang besar tersebut. Hal ini memudahkan masuknya sinar matahari langsung dan menyebabkan tak hanya permukaan bangunan, namun temperatur di dalam bangunan juga semakin tinggi. Panas radiasi matahari yang diterima bangunan mengakibatkan pendingin dalam ruangan harus menanggung beban yang lebih berat. Tak hanya panas radiasi, cahaya dari sinar langsung juga dapat menimbulkan ketidaknyamanan visual apabila pengguna melihat langsung ke arah bukaan.

Dari bukaan yang menerus tersebut, nampak penggunaan *curtain* yang hampir diterapkan di setiap lantai. Langkah tersebut dilakukan guna menghalangi masuknya sinar langsung yang berlebih. Namun, langkah ini mengakibatkan pencahayaan alami yang masuk ke dalam bangunan menjadi berkurang sehingga nampak lampu yang kerap dinyalakan pada siang hari. Penggunaan *curtain* ini kerap dijumpai pada sisi timur bangunan apabila di pagi hari, serta di sisi barat apabila di sore hari.

Berdasarkan wawancara langsung dengan pengelola gedung, benar dikatakan bahwa temperatur dalam bangunan kian meninggi seiring berjalannya waktu. Hal tersebut diakui dengan kesadaran adanya penambahan unit-unit pendingin yang dibutuhkan untuk mendinginkan ruangan. Unit pendingin sentral yang ada dirasa sudah mengalami penurunan kinerja sehingga radiasi panas dari bukaan-bukaan bangunan tak lagi dapat diminimalisir dengan hanya mengandalkan unit sentral tersebut.

Secara tidak langsung, desain pengolahan selubung pada bangunan eksisting memiliki imbas yang mampu mempengaruhi penggunaan energi di dalamnya. Kinerja

desain pasif yang ada masih menjadi alasan munculnya perilaku penggunaan media elektronik tambahan guna mencapai kondisi optimal yang diinginkan. Pola penambahan unit pendingin serta penggunaan penerangan buatan di siang hari tentu erat kaitannya dengan beban energi listrik yang ditanggung di tiap tahunnya. Kendati sumber energi listrik yang digunakan berasal dari pembangkit listrik mandiri oleh PT Petrokimia sendiri, gedung kantor PT Petrokimia tetap harus mengeluarkan biaya pengganti operasional energi listrik. Besar biaya yang dikeluarkan mencapai angka 4 Miliar rupiah di setiap tahunnya.

Uraian pengamatan mengenai gedung kantor pusat PT Petrokimia terkait beberapa poin amatan baik secara peletakkan orientasi bangunan terhadap iklim, olah selubung bangunan, operasional serta perilaku penggunaan energi yang ada, mengarah pada pola konsumsi energi gedung. Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah mengeluarkan aturan dalam standardisasi ketenagalistrikan pada bangunan gedung, termasuk bangunan komersial. Bangunan gedung yang ada di Indonesia kuat dianjurkan untuk sebisa mungkin melakukan penghematan energi dari pola penggunaan energi yang ada. Untuk mengetahui pola konsumsi energi sebuah bangunan gedung, BSN telah mengeluarkan SNI 6196:2011 untuk mengatur prosedur audit energi guna mengetahui indeks konsumsi energi suatu bangunan dengan berbagai prosedur pengukuran. Dari prosedur tersebut dapat diketahui tingkat konsumsi energi sehingga dapat dilakukan langkah konservasi energi.

Peluang Konservasi Energi (PKE) merupakan peluang yang mungkin bisa diperoleh dalam rangka penghematan energi dengan cara perbaikan dalam pengoperasian dan pemeliharaan, atau melakukan tindakan konservasi energi pada fasilitas energi. Peluang ini didapatkan guna mengefisienkan penggunaan energi untuk suatu kebutuhan agar pemborosan energi dapat dihindarkan.

Penelitian ini dilakukan untuk dapat mengetahui hasil evaluasi desain pasif selubung bangunan serta indeks konsumsi energi pada gedung PT Petrokimia yang kemudian dapat dilakukan analisa peluang konservasi. Cara ini dilakukan guna menerapkan perilaku konsumsi energi yang lebih hemat dibandingkan tingkat konsumsi sebelumnya tanpa mengurangi kualitas aktivitas pengguna bangunan.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Beberapa masalah yang dapat diidentifikasi dari uraian latar belakang antara lain

1. Gedung PT Petrokimia Gresik terletak membujur dengan sisi terpanjang menghadap ke arah timur dan barat sehingga sisi tersebut menerima radiasi sinar matahari tahunan lebih banyak.

2. Pengolahan selubung pada sisi terpanjang tersebut digunakan material transparan dengan proporsi 80% terhadap luas permukaan tanpa adanya media bayang (*Shading Device*) yang menghalau sinar langsung.
3. Banyaknya sinar langsung yang masuk ke dalam bangunan melalui material transparan mengakibatkan besarnya beban panas yang ditanggung oleh bangunan sehingga seiring waktu diperlukan adanya unit-unit pendingin baru guna mencapai kenyamanan temperatur yang diinginkan.
4. Penggunaan *curtain* dilakukan guna menghalang sinar langsung menjadikan perlunya penggunaan penerangan buatan di siang hari.
5. Pola penambahan unit pendingin serta penggunaan penerangan buatan di siang hari erat kaitannya dengan besar energi listrik yang digunakan serta besar biaya yang harus dikeluarkan.

### 1.3 Rumusan Masalah

Pokok masalah yang dapat dirumuskan dari uraian sebelumnya adalah bagaimana konservasi energi pada gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik melalui rekayasa selubung bangunan?

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan penelitian ini antara lain;

1. Studi kasus penelitian adalah gedung kantor PT Petrokimia Gresik.
2. Audit energi mengacu pada SNI 6196:2011 mengenai prosedur audit energi pada bangunan gedung.
3. Energi pada penelitian terfokus pada energi listrik.

### 1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui konservasi energi pada gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik melalui rekayasa selubung bangunan.

### 1.6 Kontribusi Penelitian

Kontribusi dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam berbagai macam bidang atau kalangan tertentu, antara lain;

1. Bagi pengelola gedung PT Petrokimia Gresik

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi evaluasi dan potret penggunaan energi serta mampu memberikan rekomendasi terkait peluang konservasi energi yang bisa dilakukan pada gedung kantor PT Petrokimia.

2. Bagi masyarakat umum

Penelitian ini diharapkan bisa menjadi contoh penerapan audit energi pada gedung kantor serta mendorong kesadaran publik akan pentingnya langkah konservasi energi guna menjaga kelestarian sumber daya energi.

3. Bagi akademisi maupun peneliti lain

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan umum terhadap audit energi serta peluang konservasi energi. Dapat pula dijadikan sebagai bahan studi maupun acuan dalam melakukan penelitian yang sejenis terkait peluang konservasi energi pada bangunan kantor.

## 1.7 Sistematika Pembahasan

Pembahasan dalam penelitian ini dibagi atas 5 bab pembahasan yang mencakup;

### 1. BAB I PENDAHULUAN

Memuat uraian umum, lingkup pembahasan, serta muatan yang ingin dicapai dalam penelitian mengenai profil penggunaan energi serta konservasi energi dalam rangka penghematan energi pada gedung PT Petrokimia Gresik.

### 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memuat uraian pustaka maupun penelitian terdahulu sebagai acuan dalam penelitian. Uraian pustaka pada bab ini meliputi penghematan energi dalam bidang arsitektur, penghematan energi pada bangunan kantor, audit energi pada bangunan gedung, serta teori maupun standar aturan lain yang dapat digunakan sebagai acuan pembahasan mengenai peluang konservasi energi pada bangunan kantor.

### 3. BAB III METODE PENELITIAN

Memuat uraian tentang metode penelitian yang digunakan dalam menganalisis permasalahan dan tahapan penelitian dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Dalam hal ini adalah metode audit energi serta analisa konservasi energi.

### 4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Memuat uraian pembahasan mengenai hasil pelaksanaan penelitian sesuai dengan tahapan-tahapan dari metode yang telah digunakan dalam penelitian. Meliputi tinjauan objek studi, pembahasan hasil audit energi, analisa hasil audit

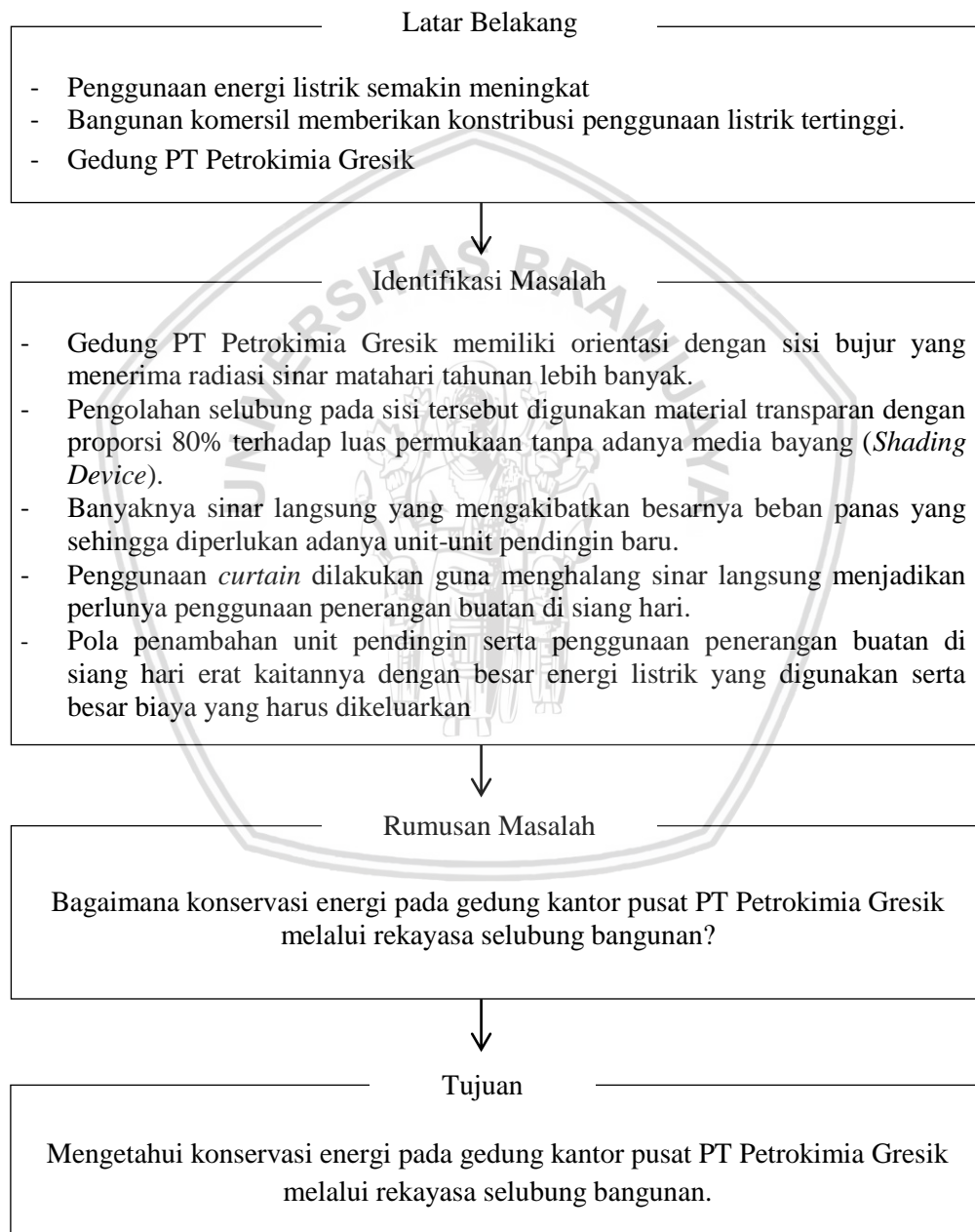


sehingga dihasilkan alternatif rekomendasi, pembuktian serta hasil akhir konservasi energi.

## 5. BAB V PENUTUP

Memuat uraian kesimpulan dari serangkaian tahapan yang telah dilakukan dalam penelitian serta memberikan saran dalam mewujudkan kontribusi penelitian.

### 1.8 Kerangka Pemikiran



Gambar 1. 1 Diagram kerangka pemikiran

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Konservasi Energi**

Konservasi energi diartikan sebagai langkah-langkah dalam pemanfaatan energi secara tepat guna sehingga penggunaan sumber energi dapat dicapai nilai optimal tanpa mengurangi penggunaan energi yang diperlukan untuk menjalankan suatu usaha kerja. (Abdurrachim, dkk., 2002).

Peluang konservasi energi menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 6196:2011 diartikan sebagai peluang yang mungkin bisa diperoleh dalam rangka penghematan energi dengan cara perbaikan dalam pengoperasian dan pemeliharaan, atau melakukan tindakan konservasi energi pada fasilitas energi. Peluang konservasi energi merupakan langkah lanjutan dalam penghematan energi yang mengatur kinerja energi mulai dari pengadaan, pemeliharaan operasional, sampai pada titik penggantian energi ulang.

#### **2.2 Tinjauan Arsitektur Hemat Energi**

Sejak munculnya revolusi industri di Eropa, perkembangan industri serta teknologi di dunia semakin meningkat. Inovasi kecanggihan teknologi serta kepraktisan yang ditawarkan memberikan dampak ketergantungan yang tinggi akan kebutuhan peralatan modern dalam menjalankan kehidupan sehari-hari. Hal ini memberikan dampak akan kebutuhan energi yang tinggi pula. Di sisi lain, penggunaan energi didominasi oleh penggunaan energi tak terbarukan sehingga diprediksikan bahwa krisis energi akan terjadi. Hal tersebut memicu munculnya berbagai studi mengenai penghematan energi serta gagasan dalam teknologi mengenai hadirnya sumber energi terbarukan. Tak terkecuali dalam bidang keilmuan arsitektur. Perancangan arsitektur kini banyak dipelopori oleh gagasan mengenai arsitektur yang peduli terhadap energi. Gagasan rancang yang memperhatikan bagaimana eksistensi energi di dalam bangunan serta bagaimana peran manusia sebagai perancang serta pengguna bangunan.

Mendesain sebuah bangunan yang hemat energi dapat dikatakan sebagai perancangan bangunan dengan meminimalkan penggunaan energi tanpa membatasi fungsi bangunan maupun kenyamanan produktifitas penggunaannya. (Dean, 2002). Menurut Tri Harso Karyono (2010) arsitektur yang berbasis hemat energi adalah kondisi dalam arsitektur dimana energi yang dikonsumsi diatur sehemat mungkin tanpa mengurangi

kenyamanan fisik manusia sebagai penggunaanya. Dapat disimpulkan bahwa arsitektur hemat energi merupakan perancangan arsitektur yang menerapkan prinsip penghematan energi untuk meminimalkan penggunaan energi tersedia namun tetap mengindahkan kenyamanan manusia sebagai pengguna sebagaimana mestinya.

Pada perkembangannya, kini muncul gagasan arsitektur yang berbasis kepedulian terhadap bumi. Dimana bumi sebagai penopang hidup manusia telah menyediakan segala sumber energi haruslah dilestarikan sehingga tidak mengalami kerusakan. Gagasan tersebut dikenal dengan istilah arsitektur hijau atau *Green Architecture*.

Arsitektur hijau adalah arsitektur yang memiliki nilai minimum terhadap penggunaan sumber daya alam, termasuk energi, air, dan material, serta minim menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. (Karyono, 2010).

*Green Architecture* adalah suatu pola pikir dalam arsitektur yang memperhatikan dan memanfaatkan dari ke empat unsur natural yang ada di dalam lingkungannya dan dapat membuat hubungan saling menguntungkan dengan alam. Meliputi; udara, air, api dan bumi. (Brenda dan Vale, 1991)

Prinsip *green architecture*;

#### 1. *Conserving Energy* (Konservasi energi)

- a. Bangunan dibuat memanjang dan tipis untuk memaksimalkan pencahayaan dan menghemat energi listrik.
- b. Memanfaatkan energi surya dalam bentuk *thermal* dengan media *Photovoltaic* yang diletakkan di atas atap. Atap di desain miring sejajar dengan arah peredaran matahari untuk mendapatkan sinar yang maksimal.
- c. Memasang lampu listrik hanya pada bagian yang intensitasnya rendah dilengkapi alat kontrol pengurang intensitas lampu otomatis.
- d. Menggunakan *Sunscreen* pada jendela untuk mengatur intensitas sinar langsung serta cahaya yang masuk ke dalam ruangan.
- e. Menggunakan warna interior yang cerah namun tidak menimbulkan silau untuk meningkatkan intensitas cahaya dalam ruang.
- f. Bangunan tidak menggunakan pemanas buatan, sehingga beban panas yang diterima bangunan hanya berasal dari penghuni dan sinar matahari.
- g. Meminimalkan penggunaan pendingin buatan (AC) dan transportasi (lift).

#### 2. *Working with Climate* (Memanfaatkan iklim)

- a. Orientasi bangunan terhadap sinar matahari.



- b. Menggunakan sistem *air pump* dan *cross ventilation* untuk mendistribusikan udara yang sejuk ke dalam ruangan.
- c. Menggunakan tumbuhan dan air sebagai pengatur iklim.
- d. Menggunakan jendela dan atap yang sebagian bisa dibuka dan ditutup untuk mendapatkan cahaya dan penghawaan yang sesuai kebutuhan.

### 3. *Respect for Site* (Bijak terhadap Tapak)

- a. Mempertahankan kondisi tapak dengan membuat desain yang mengikuti bentuk tapak yang ada.
- b. Luas permukaan dasar bangunan yang kecil, yaitu pertimbangan mendesain bangunan secara vertikal.
- c. Menggunakan material lokal dan material yang tidak merusak lingkungan

### 4. *Respect for User* (Bijak terhadap Pengguna)

Ketercapaian arsitektur hijau haruslah memperhatikan kebutuhan pengguna bangunan baik dari sisi perencanaan maupun pengoperasiannya.

### 5. *Limiting New Resources* (membatasi penggunaan sumber daya baru)

Perancangan sebuah bangunan perlu mempertimbangkan penggunaan material yang ada di sekitar sehingga mampu meminimalkan penggunaan material terbaru, dimana pada akhirnya dapat digunakan kembali untuk membentuk tatanan arsitektur selanjutnya.

### 6. *Holistic*

Kesatuan antar prinsip arsitektur hijau tidak dapat dipisahkan. Masing-masing memiliki kaitan yang erat. Akan sangat bijak apabila mampu menggunakannya sesuai dengan potensi yang ada di dalam tapak sehingga membentuk suatu lingkungan binaan yang terpadu dan ramah terhadap lingkungan.

## 2.3 Tinjauan Penghematan Energi Pada Bangunan Kantor

### 2.3.1 Low Energy Office (LEO)

LEO merupakan istilah yang digunakan dalam mengategorikan sebuah bangunan kantor yang memiliki tingkat konsumsi energi yang rendah dibandingkan dengan perhitungan energi yang seharusnya dikonsumsi berdasarkan karakteristik bangunan.

Menilik dari *The 2005 World Sustainable Building Conference* di Tokyo mengenai *Low Energy Building* di Putrajaya, Malaysia, pada studi kasus demonstrasi bangunan Pusat Administrasi Pemerintahan sebagai bangunan rendah energi, memaparkan mengenai bagaimana perancangan bangunan dengan penggunaan energi yang efisien serta

berdampak rendah terhadap lingkungan. Berdasarkan standar Malaysia MS 1525:2001 untuk bangunan LEO harus memiliki indeks kurang dari 135 kWh/m<sup>2</sup>year. Pada demonstrasi bangunan tersebut dipaparkan bahwa penggunaan energi hanya mencapai 100 kWh/m<sup>2</sup>year.

Dalam perancangan LEO tersebut dipertimbangkan beberapa aspek yang dapat mewujudkan bangunan kantor yang rendah energi. Antara lain;

1. *Site & Climate* (Tapak & Iklim)

Wilayah perkotaan cenderung menimbulkan efek “pulau panas” akibat dari padatnya aktivitas serta kurangnya ruang terbuka. Hal ini mengakibatkan kenaikan suhu lingkungan yang berpengaruh terhadap kenyamanan di dalam bangunan. Pada bangunan LEO, suhu lokal di luar bangunan dapat dikurangi dengan menggunakan efek pendingin dari pohon, area penghijauan, dan area air. Pengaturan tata letak serta daerah perairan yang cukup luas mampu menciptakan iklim mikro lokal yang nyaman untuk bangunan dan pengguna.

2. *Comfort & Indoor Air Quality* (Kenyamanan & Kualitas udara dalam ruang)

Kenyamanan termal manusia bergantung pada berbagai parameter klimatologis dan fisiologis. Pada iklim tropis, seseorang akan semakin tidak nyaman dengan meningkatnya suhu udara, kelembaban, dan suhu radiasi (suhu permukaan yang mengelilingi orang tersebut). Kisaran suhu ruangan yang disarankan berkisar antara 23°C sampai 26°C dan kelembaban relatif yang disarankan 60%-70%. Sejatinya suhu dan kelembaban yang dibutuhkan haruslah lebih rendah daripada udara luar, terutama pada area kerja untuk memberikan kenyamanan kerja yang optimal. Oleh karena itu bangunan harus ketat serta asupan udara segar harus dikontrol dengan kualitas optimal. Dalam bangunan LEO, asupan udara luar dikontrol sesuai dengan tingkat CO<sub>2</sub> udara dalam ruangan. Semakin banyak orang di dalam bangunan maka asupan udara segar perlu ditingkatkan. Kualitas udara dalam ruangan ditingkatkan dengan penggunaan pembersih udara elektronik sebagai pengganti daripada serat filter biasa untuk membersihkan udara yang masuk dari partikel polutan. Perlu dicatat bahwa suhu serta kelembaban yang terlalu rendah memberikan dampak yang tidak nyaman, tidak sehat serta lebih mahal karena meningkatnya beban pendingin.

3. *Daylight* (Cahaya alami)

Cahaya alami merupakan sumber cahaya yang paling disukai manusia. Tantangan dalam desain terhadap penggunaan cahaya alami di siang hari adalah

bagaimana merancang jendela serta naungan yang memungkinkan masuknya terang cahaya ke dalam, mencegah panas dari sinar matahari, dan mengurangi silau. Pada gedung LEO, kriteria ini dicapai dengan kombinasi *glazing* dan shading eksterior yang memungkinkan 65% cahaya menembus masuk dan memungkinkan hanya 51% panas yang lewat. Atrium diadakan untuk menjangkau ke bagian bangunan yang lebih dalam, sehingga mampu meningkatkan penghematan energi dan kenyamanan pengguna. Dalam mengimbangi penggunaan cahaya alami, pencahayaan buatan juga harus dikendalikan sedemikian rupa agar mampu berjalan secara otomatis mengikuti aktivitas yang ada di dalam bangunan. Sistem kontrol responsif diaplikasikan dan dikombinasikan dengan detektor yang secara otomatis akan mematikan pencahayaan dan mengurangi pendinginan saat kantor tidak digunakan.

#### 4. *Building Envelope* (Selubung bangunan)

Pada bangunan LEO, bukaan utama berorientasi ke arah utara dan selatan. Orientasi ini sesuai dengan arah edar matahari tropis yang menerima sinar matahari secara minim dibandingkan arah timur dan barat. Arah timur dan barat memberikan sinar matahari yang lebih banyak terutama pada saat matahari berada di posisi rendah baik pagi maupun sore. Salah satu cara yang paling efisien adalah dengan shading eksterior. Pada bangunan LEO digunakan dua jenis jendela, yakni *punch hole window facade* untuk area lantai bawah dan *curtain wall windows* dengan shading kisi-kisi untuk lantai-lantai atas. Jendela tersebut memiliki proporsi 25-39% dari luas fasade tergantung pada orientasi. Pada bagian barat hampir tidak memiliki jendela. Kaca-kaca jendela memiliki tebal 12mm dengan warna hijau serta memiliki transmisi cahaya tampak 65% dan koefisien bayangan 0,59. Dinding bangunan LEO terdiri dari beton aerasi setebal 200mm dan memiliki permukaan berwarna terang. Ketebalan ini guna mengurangi panas dari dinding akibat sinar matahari. Dinding beton ringan juga memiliki nilai insulasi 2,5 lebih baik dari tembok bata tradisional. Atap bangunan terisolasi dengan isolasi 100mm, dibandingkan dengan biasanya yang hanya memiliki isolasi 25mm. Atap dilindungi oleh kanopi kedua yang mencegah sinar matahari langsung mengenai atap bangunan. Sepanjang perimeter atap dihadirkan lansekap hijau guna memberikan naungan dan meningkatkan estetika. Pada area atrium, terdapat cerobong termal yang berfungsi untuk

mengeluarkan udara panas dan menarik udara segar untuk masuk ke dalam bangunan di bagian bawah atrium.

#### 5. *Office Appliances* (Peralatan kantor)

Peralatan kantor seperti komputer, printer, dan mesin fotokopi bertanggung jawab atas peningkatan konsumsi listrik serta bertanggung jawab atas peningkatan beban pendingin akibat panas yang diproduksinya selama alat tersebut bekerja. Pada bangunan LEO, digunakan peralatan kantor yang berbasis hemat energi. Dari langkah ini konsumsi listrik bisa berkurang dari 25 menjadi hanya 10 kWh/m<sup>2</sup> per tahun. Selain itu beban pendinginan juga berkurang 10 kWh/m<sup>2</sup> per tahun. Peralatan kantor utama yang mengkonsumsi energi paling banyak adalah *Personal Computer* (PC) dan layar monitornya. Dalam hal ini langkah yang dilakukan adalah dengan membeli komputer berlabel dengan perangkat lunak yang otomatis mengurangi konsumsi energi selama periode *idle*. Selain itu, penggunaan layar LCD juga memberikan penghematan dibanding layar CRT tradisional. Penggunaan laptop portable juga jauh lebih hemat dibandingkan komputer biasa. Penggunaan laptop mampu mengurangi konsumsi listrik hingga menjadi 30 Watt per PC dibandingkan dengan penggunaan PC dengan layar CRT yang bisa mencapai 150W.

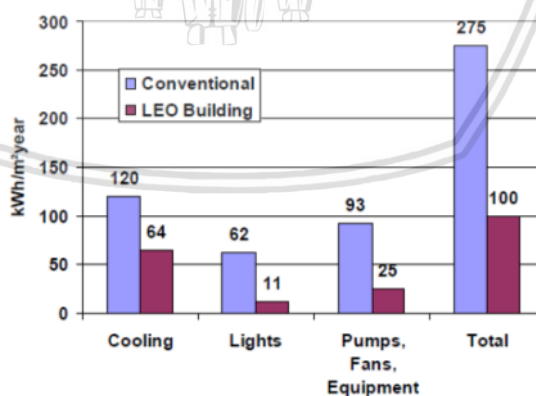
#### 6. *Cooling, Lighting & Transport* (Pendinginan, pencahayaan & transportasi)

Konsumsi energi terbesar dalam kantor adalah pendinginan dan pencahayaan yang mencapai 60%-70%. Sisanya 25%-30% digunakan untuk kebutuhan lain seperti pompa, motor lift, dan peralatan kantor lainnya. Pada bangunan LEO, pencahayaan di siang hari digunakan pencahayaan alami secara optimal. Untuk penggunaan listrik, dipasang lampu penerangan dengan efisiensi tinggi dikombinasikan dengan pengurangan penerangan di kantor. Mengurangi beban pencahayaan terpasang dari biasanya 20W/m<sup>2</sup> menjadi hanya 10W/m<sup>2</sup>. Tingkat pencahayaan dikurangi dari 500lux menjadi 335lux di ruang kantor. Peralatan mekanik dan listrik (ME) juga mencakup motor berefisiensi tinggi (High Efficiency Motors/HEMs) untuk pompa dan kipas dengan Variable Speed Drives (VSD). VSD mengurangi daya motor dan konsumsi listrik secara drastis untuk kondisi beban parsial, yakni kondisi beban normal. Setiap lantai memiliki Air Handling Unit (AHU) dan terbagi menjadi zona yang lebih kecil, dimana penyediaan udara dingin dikontrol dengan peredam Variable Air Volume

(VAV). Peredam VAV mengendalikan volume udara dingin ke zona sesuai dengan set poin suhu.

#### 7. *Energy Management* (Manajemen energi)

Sistem manajemen energi atau Energy Management System (EMS) yang komperhensif merupakan prasyarat untuk benar-benar mencapai konsumsi energi yang rendah. EMS memonitori secara terus menerus mengenai konsumsi energi bangunan. Hal ini memungkinkan untuk perbandingan konsumsi energi aktual dengan konsumsi energi yang diperkirakan serta dengan konsumsi energi yang sebelumnya. Tindakan sewaktu waktu bisa dilakukan jika ditemukan pola konsumsi energi tinggi yang tidak normal sesuai daftar. Manajemen energi memerlukan pemasangan metering yang memadai sebagai alat untuk mengukur energi yang digunakan. Perangkat lunak komputer tertentu juga dipasang guna mengoptimalkan kinerja berbagai sistem energi untuk pendinginan dan pencahayaan, sehingga tercapai kenyamanan pengguna secara optimal serta didapat biaya konsumsi energi yang paling kecil. Pada bangunan LEO terpasang EMS yang komperhensif di masing-masing lantai dan masing-masing sayap bangunan (timur dan barat), konsumsi energi untuk pendinginan, pencahayaan, dan beban steker dipantau secara terpisah. Data pemantauan rinci dari bangunan LEO akan tersedia untuk studi lanjut oleh akademisi dan profesional.



Gambar 2. 1 Perbandingan penghematan energi pada bangunan LEO

Sumber : Roy, 2005

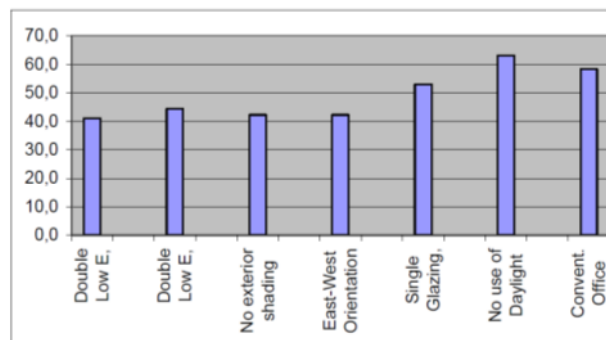


### 2.3.2 Zero Energy Office (ZEO)

ZEO merupakan istilah yang digunakan dalam mengategorikan sebuah bangunan kantor yang memiliki tingkat konsumsi energi bersih setara nol. Artinya, total energi tahunan yang dikonsumsi oleh bangunan setara dengan total energi yang dihasilkan dari energi terbarukan yang ada dalam tapak bangunan.

Menilik dari jurnal kajian mengenai *Design Strategies for Energy Efficiency in Hot and Humid Climate : the Case of the ZEO Bulding* oleh Poul E. Kristensen dkk, tim IEN Consultants SdnBhd, Pusat Tenaga Malaysia (PTM), Malaysia, pada studi kasus demonstrasi dan bangunan penelitian mengenai teknologi energi baru sebagai bangunan energi setara nol, memaparkan mengenai bagaimana perancangan bangunan dengan penggunaan energi bukan bahan bakar fosil melainkan energi dari penggunaan *Photovoltaic (PV)* yang bersumber dari sinar matahari. Dalam rancangan bangunan ZEO, tujuan rancangan energi keseluruhan adalah untuk mencapai konsumsi energi setara nol atau setidaknya biaya konstruksi. Karena penggunaan PV masih tergolong mahal, sehingga investasi masih memerlukan biaya yang tinggi. namun demikian, bukan berarti ZEO tidak dapat dilaksanakan. Langkah dalam mengimbangi tingginya biaya pengadaan PV dilakukan dengan mengurangi konsumsi energi sehingga total kebutuhan energi bisa sama dengan total hasil produksi PV. Dalam bangunan PTM ini bangunan dirancang sedemikian rupa sehingga mampu mengurangi konsumsi energi menjadi 40 kWh/m<sup>2</sup> per tahun. Kunci utama dalam pencapaian angka tersebut meliputi:

1. Selubung bangunan yang berbasis efisiensi energi (EE) dengan penggunaan *double glazing* serta dinding dan atap yang tersinsulasi.
2. Penggunaan cahaya alami sebagai sumber satusatunya penerangan di siang hari.
3. Penggunaan peralatan kantor yang berbasis efisiensi energi (EE)



Gambar 2. 2 Penghematan energi pada berbagai varian EE

Sumber : Kristensen, 2008

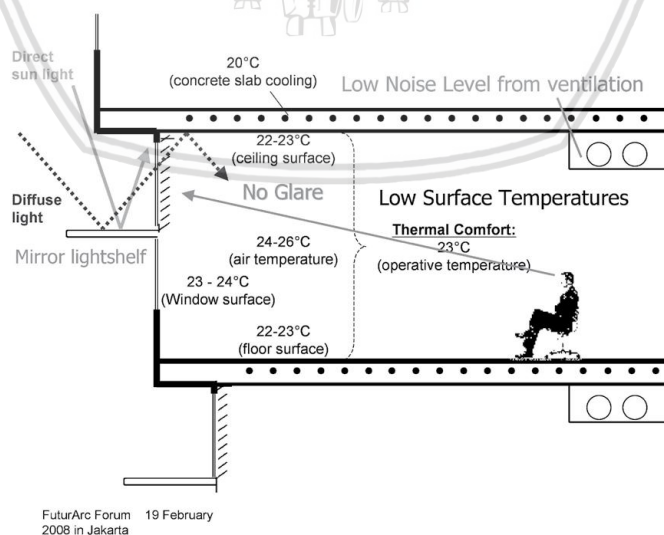
Dalam perancangan tersebut diperhatikan pula beberapa aspek perancangan dalam mewujudkan bangunan energi setara nol, antara lain:

1. *Building Integrated PV* (Bangunan yang terintegrasi dengan PV)

Tak hanya sebagai *powerplant* di siang hari, atap PV juga menjadi sebagai tower pendingin di malam hari. Selama malam hari, atap ditutupi oleh lapisan *water film* yang tipis yang mengeluarkan panas dari *chiller* ke langit oleh radiasi dan udara malam melalui proses penguapan dan konveksi. Total PV yang terpasang adalah empat buah dengan total daya 85 kWp yang didistribusikan pada empat area. Satu sistem 45 kWp menggunakan PV polikristalin, satu sistem 6 kWp dengan PV film tipis, satu sistem 25 kWp dengan PV monokristalin, dan satu sistem 10 kWp dengan PV semitransparan yang diletakkan di atas atrium.

2. *Building 100% Daylight During Daytime* (100% penggunaan cahaya alami)

Listrik untuk penerangan pada gedung PTM ZEO mengkonsumsi total 30 – 40 kWh/m<sup>2</sup> per tahun. Siang hari merupakan waktu yang berpotensi dalam penggunaan cahaya alami. Dalam mencapai penggunaan cahaya alami sebagai penerangan utama di siang hari, digunakan jendela dengan rancangan *double glaze* yang terinsulasi dan terintegrasi dengan tirai kisi-kisi. Tirai melindungi pandangan langsung sinar berlebih yang mengakibatkan silau. Sementara itu, cahaya tak langsung dipantulkan melalui kisi-kisi tersebut ke langit-langit dan diteruskan oleh plafon menuju ke bagian dalam ruangan.



Gambar 2. 3 Pengolaham selubung bangunan pada kasus ZE

Sumber : Yoong, 2008

3. *Concrete Floor Slabs With Thermal Storage and Radiant Cooling* (Lempengan lantai beton dengan penyimpanan termal dan pendinginan radiasi)

Chiller bangunan hanya berjalan pada malam hari, dimana lempengan lantai beton yang tertanam tabung PEX sedang didinginkan. Pada siang hari, pendinginan dilepaskan secara berkala dari lempengan lantai ke ruangan yang ada di atas dan di bawahnya. Sistem pendinginan ini 75% lebih rendah dari sistem konvensional karena sistem ini hanya membutuhkan pasokan udara segar dan udara yang telah diturunkan kelembabannya. Pendinginan yang dihasilkan oleh AHU pada siang hari disimpan pada tanki penyimpanan termal. Jadi, pendinginan yang tersedia dari malam hari untuk siang hari disediakan sebagian oleh lempeng lantai dan sebagian dari tanki penyimpanan termal.

4. *Trickling Night Cooling Roof* (Pendinginan di atap)

Pelepasan panas dari pendingin biasanya melalui menara pendingin, namun untuk gedung PTM ZEO, telah diaplikasikan sistem yang lain. Chiller hanya berjalan pada waktu malam hari, dan panasnya dilepaskan dari atap PV dengan meneteskan air di atas lereng atap. Air ditambahkan di lekukan-lekukan atap dan dialirkan menuju talang dimana panas akan dilepaskan ke angkasa melalui proses pengupan dan konveksi. Air yang digunakan berasal dari penampungan air hujan yang berada di atap bangunan.

5. *Energy Efficient Office Equipment* (Peralatan kantor berbasis Efisiensi Energi)

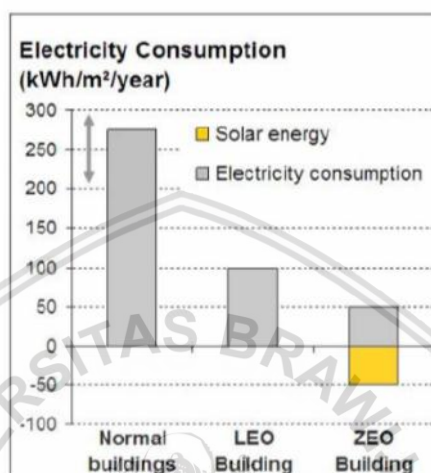
Penggunaan peralatan kantor yang ada pada gedung PTM ZEO menggunakan peralatan yang berbasis hemat energi. Baik berupa komputer, printer maupun barang elektronik lainnya. Dengan demikian steker yang terpasang mampu dikurangi menjadi 2,5 W/m<sup>2</sup> dibandingkan biasanya yang mencapai 10-15 W/m<sup>2</sup>. Hal ini turut memberikan kontribusi terhadap konsumsi energi listrik bangunan.

6. Langkah lain-lain

Selain beberapa solusi inovasi energi yang disebutkan di atas, sejumlah praktik penghematan telah dilakukan dalam mencapai bangunan berenergi setara nol. Langkah tersebut antara lain perancangan arsitektur yang merancang fasade seperti tangga dengan kedalaman satu meter setiap lantai, serta penggunaan atap dan dinding yang terisolasi. Sistem M&E, pompa dan kipas angin memiliki efisiensi yang sangat tinggi, begitu pula dengan ducting didesain dengan resistensi yang sangat rendah. Sistem pendingin menggunakan Variable Air



Volume (VAV) serta semua pompa dan kipas memiliki Variable Speed Drive (VSD). Untuk pencahayaan menggunakan tabung fluorescent T5 dengan frekuensi balast yang tinggi dipasang pada perlengkapan yang sangat efisien. Untuk mengoptimalkan kinerja penerangan, digunakan sistem kontrol DALI yang menggunakan sensor sehingga penggunaan lampu hanya menyala sesuai dengan waktu dan tempat yang dibutuhkan saja.



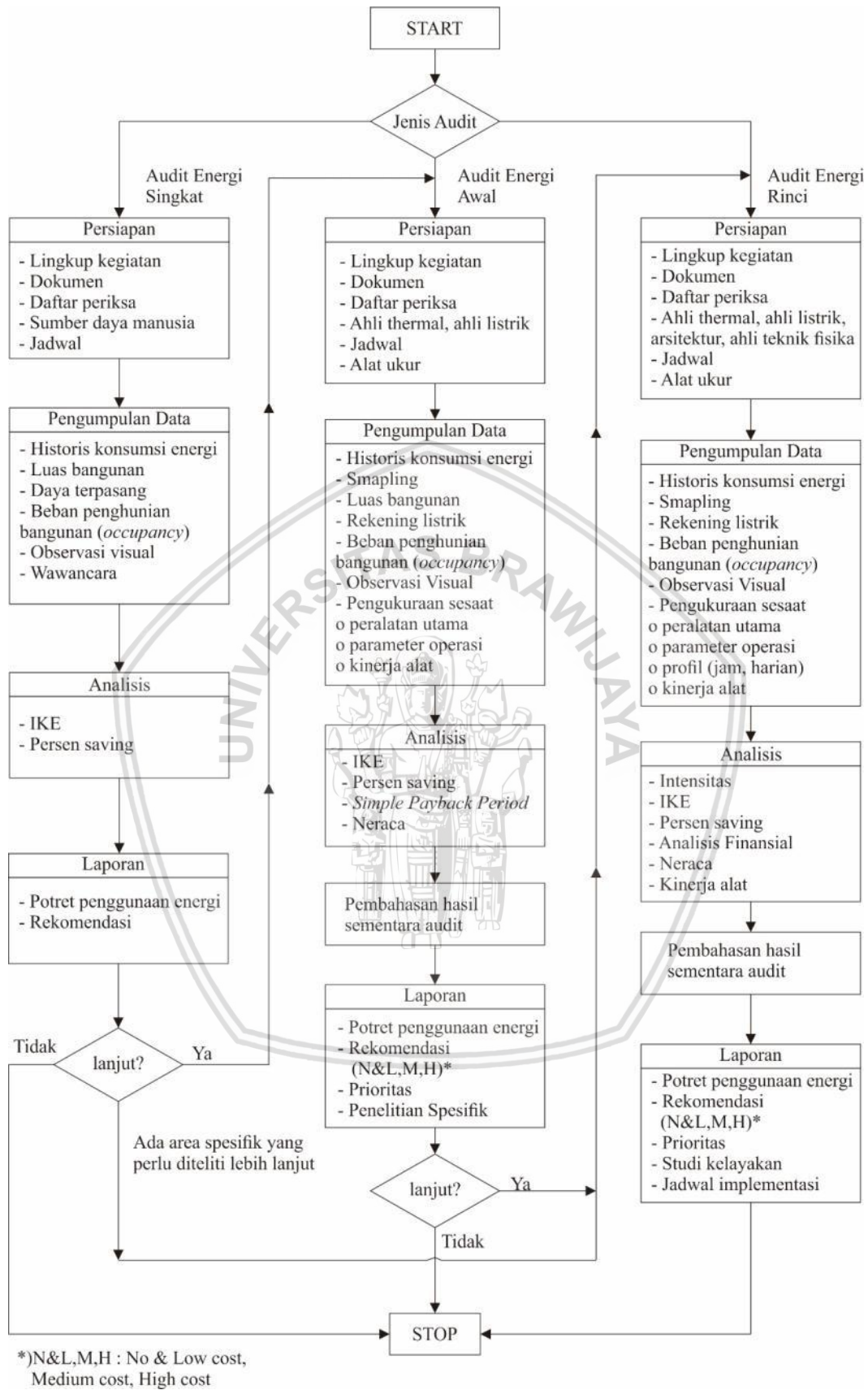
Gambar 2. 4 Perbandingan penghematan energi pada bangunan kantor

Sumber : [www.ptm.org.my/PTM\\_Building](http://www.ptm.org.my/PTM_Building), 2008

## 2.4 Audit Energi Pada Bangunan Kantor

Audit energi menurut SNI 6196:2011 adalah suatu proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi. Konservasi energi pada bangunan merupakan upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya tanpa mengurangi tuntutan kenyamanan manusia dan/atau menurunkan kinerja alat dalam bangunan.

Proses audit dilakukan secara bertahap sebagaimana ditunjukkan pada bagan berikut :



Gambar 2. 5 Bagan alur proses audit energi

Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2011

### 2.4.1 Audit energi singkat (*walk through audit*)

Tahap ini merupakan tahap audit sekilas mengenai jejak rekam konsumsi energi sebelumnya. Tahapan ini memiliki rincian langkah audit sebagai berikut;

1. Persiapan

Langkah ini meliputi penyiapan dokumen termasuk kuisioner, penyiapan sumber daya manusia, serta penetapan jadwal singkat perencanaan.

2. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan adalah data historis yang mencakup luas total bangunan, pembayaran rekening listrik maupun bahan bakar lain selama 1-2 tahun terakhir, beban penghuni bangunan, daya yang terpasang, dan masukan dari observasi visual.

3. Perhitungan dan analisa data

Langkah ini mencakup perhitungan profil serta efisiensi bangunan berdasar data yang telah dikumpulkan sebelumnya. Meliputi perhitungan IKE, kecenderungan konsumsi energi, persentase potensi penghematan energi, serta keputusan dalam melanjutkan audit menuju audit awal atau rinci.

4. Laporan audit energi

Langkah akhir yakni penyusunan laporan terkait audit singkat yang memuat potret penggunaan energi serta rekomendasi langkah konservasi energi. Berikut keputusan dalam melanjutkan audit energi.

### 2.4.2 Audit energi awal (*preiminary audit*)

Tahap ini merupakan tahap lanjutan apabila hasil dari audit singkat menyarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut. Tahapan ini memiliki rincian langkah audit sebagai berikut;

1. Persiapan

Langkah ini meliputi penyiapan dokumen termasuk ceklis data, penyiapan SDM sesuai bidang kelistrikan dan mekanis, alat ukur untuk pengukuran sampling, serta penetapan jadwal perencanaan.

2. Pengumpulan data

- a. Data historis

Mencakup dokumentasi bangunan yang sesuai gambar konstruksi terpasang. Meliputi: tapak, denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai, denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai, diagram garis tunggal,

lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listrik dan besarnya penyambungan daya listrik PLN serta daya listrik cadangan dari set generator, embayaran rekening listrik dan bahan bakar lain bulanan bangunan gedung selama satu tahun terakhir, dan beban penghunian bangunan selama satu tahun terakhir.

b. Pengukuran singkat

Pengukuran menggunakan alat ukur *portable* dengan pengukuran secara sampling di sejumlah titik pengguna energi utama.

c. Masukan dan observasi visual

Diperoleh berdasarkan observasi langsung dan hasil wawancara dengan operator terkait kinerja operasi penggunaan energi.

3. Perhitungan dan analisis data

Langkah ini meliputi perhitungan IKE, *simple payback period*, neraca energi, persentase peluang penghematan energi, serta rekomendasi berdasar prioritas penghematan energi.

4. Pembahasan hasil sementara audit

Langkah ini dilakukan minimal satu kali sebelum laporan akhir untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan dari pemilik gedung.

5. Laporan audit energi

Langkah akhir yakni penyusunan laporan terkait audit awal yang memuat potret penggunaan energi, potensi penghematan energi dan biaya pada obyek yang diteliti, rekomendasi spesifik, serta rekomendasi tindak lanjut ke audit rinci apabila diperlukan.

### 2.4.3 Audit energi rinci (*detail audit*)

Tahap ini merupakan tahap lanjutan apabila hasil dari audit singkat maupun audit energi awal menyarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut. Tahapan ini memiliki rincian langkah audit sebagai berikut;

1. Persiapan

Langkah ini meliputi penyiapan dokumen termasuk daftar peiksa ceklis, penyiapan SDM sesuai bidang kelistrikan, mekanis serta arsitektur, alat ukur untuk pengukuran detail yang dilakukan secara periodik, serta penetapan jadwal rinci perencanaan.

## 2. Pengumpulan data

### a. Data historis

Mencakup dokumentasi bangunan yang sesuai gambar konstruksi terpasang. Meliputi: tapak, denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai, denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai, diagram garis tunggal, lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listrik dan besarnya penyambungan daya listrik PLN seta daya listrik cadangan dari set generator, embayaran rekening listrik dan bahan bakar lain bulanan bangunan gedung selama satu tahun terakhir, dan beban penghunian bangunan selama satu tahun terakhir.

### b. Pengukuran langsung

Pengukuran menggunakan alat ukur terkalibrasi atau alat ukur *portable* dengan pengukuran secara langsung pada peralatan yang mencakup parameter operasi, profil, dan kinerja alat.

### c. Masukan dari pengamatan

Diperoleh dari observasi langsung dan hasil wawancara mendalam dengan operator terkait kinerja operasi penggunaan energi.

## 3. Perhitungan dan analisis data

Analisa data energi menggunakan program komputer yang telah direncanakan untuk itu.

### a. Perhitungan profil dan efisiensi penggunaan energi

### b. Analisis data

### c. Analisis finansial hemat energi

## 4. Pembahasan hasil sementara audit

Langkah ini dilakukan minimal satu kali sebelum laporan akhir untuk mendapatkan hasil audit yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan dari pemilik gedung.

## 5. Laporan audit energi

Langkah akhir yakni penyusunan laporan terkait audit awal yang memuat potret penggunaan energi, kinerja operasi aktual pengguna energi, faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja operasi, potensi penghematan energi dan biaya pada obyek yang diteliti, kajian teknis dan finansial penghematan energi, dan rekomendasi spesifik.

## 6. Rekomendasi



Langkah ini memuat masalah mencakup pengelolaan energi termasuk program manajemen yang perlu diperbaiki, implementasi audit energi yang lebih baik, dan cara meningkatkan kesadaran penghematan energi serta pemanfaatan energi.

## **2.5 Konsevasi Energi Pada Bangunan Kantor**

### **2.5.1 Konservasi energi sistem tata udara**

Konservasi energi sistem tata udara bangunan gedung telah diatur dalam SNI 6390:2011 sehingga penggunaan energi dapat dilakukan secara efisien tanpa mengorbankan kenyamanan termal pengguna bangunan. Berlakunya SNI untuk gedung yang sudah beroperasi (eksisting) bersifat tidak wajib mematuhi SNI ini, namun dianjurkan sedapat mungkin melakukan langkah konservasi energi.

#### **1. Konservasi energi**

##### **a. Tahap pengoperasian**

##### **1) Mesin refrigerasi**

- a) Untuk penghematan energi, jangka waktu operasi mesin refrigerasi dapat diminimalkan dengan memanfaatkan besarnya masa air sejuk sebagai media penyerap panas.
- b) Selain mengoptimalkan jangka waktu pengoperasian beban parsial, kombinasi operasi multiple units yang dapat meminimalkan penggunaan energi (multi Chiller, atau multi-compressor pada satu Chiller) perlu dikembangkan.
- c) Dengan memperhatikan karakteristik pompa distribusi air sejuk serta memperhatikan rentang kenaikan temperatur dalam Chiller, perlu ditentukan setting laju aliran air keluar Chiller minimum yang masih diperkenankan menurut ketentuan pabrik.

##### **2) Sistem distribusi udara dan air sejuk**

- 3) Pada sistem tata udara dengan air sejuk perlu diupayakan agar laju aliran air sejuk dapat diminimalkan ketika pompa distribusi air sejuk menunjukkan karakteristik daya masukan rendah pada laju aliran air yang rendah.

- 4) Untuk mengendalikan kondisi pendinginan ruang yang sesuai dengan perencanaan, infiltrasi udara luar harus diminimalkan atau jika mungkin ditiadakan.

##### **5) Beban pendingin**



- a) Untuk tujuan penghematan energi, temperatur ruang harus diset maksimum dalam batas rentang temperatur nyaman (*comfort zone*).
- b) Berdasarkan rekam jejak pola pemakaian energi bangunan, pengoperasian AHU dan FCU perlu disesuaikan dengan waktu yang paling berpeluang untuk penghematan energi.
- c) Jika dimungkinkan, pengurangan beban dalam ruang dapat dilakukan tanpa mengganggu aktifitas pengguna gedung. Mematikan lampu ruangan yang sudah cukup mendapatkan cahaya matahari mengurangi beban pendingin ruang, sehingga menghemat penggunaan energi sistem tata udara.

b. Tahap pemeliharaan dan perbaikan

Dalam rangka penghematan energi, pada tahap pemeliharaan dan perbaikan, secara umum perlu diperhatikan agar kondisi pertukaran dapat berlangsung dengan baik, dengan menjamin tahanan kalor yang kecil.

1) mesin refrigerasi

- a) Mesin kondenser perlu dibersihkan secara teratur pada sisi fluida pendinginya; kondenser berpendingin udara memerlukan pembersihan sirip pada sisi udara, sementara kondenser berpendingin air memerlukan pembersihan pipa air dari kerak, agar tidak terlalu tebal.
- b) untuk kondenser berpendingin udara, aliran udara luar perlu dijaga agar cukup dan tidak terhalang, serta tidak terjadi “hubungan pendek” antara aliran udara keluar dari kondenser dengan aliran udara yang masuk kondenser.
- c) Pada kondenser berpendingin air maka sistem air pendingin perlu dijamin kebersihan dan kelancarannya. Mulai dari menara pendingin (*cooling tower*) sampai pompa sirkulasi air kondenser.
- d) Pada masa pemeliharaan, perlu diperiksa apakah nilai EER atau kW/TR mesin refrigerasi masih mendekati nilai yang dijamin oleh pabrik.

2) Sistem distribusi

Pemborosan energi dapat terjadi di berbagai bagian dari sistem tata udara di sepanjang perjalanan kalor dari mulai evaporator pada mesin refrigerasi, hingga ruangan yang dikondisikan.

- a) isolasi pipa air sejuk pipa refrigerasi dan ducting udara perlu selalu diperiksa, dipelihara, dan diperbaiki dalam setiap kurun waktu tertentu

untuk mencegah kebocoran kalor yang dapat mengakibatkan pemborosan energi.

- b) Koil penukar kalor pada AHU dan FCU perlu dibersihkan dan disusun dengan baik (“disisir”) untuk menjamin proses pertukaran kalor dengan baik.
- c) Meskipun secara langsung tidak berhubungan dengan pemborosan energi, filter AHU dan FCU secara teratur perlu selalu dibersihkan untuk menjamin kebersihan udara yang masuk ke dalam ruangan. Filter yang kotor juga dapat menimbulkan kerugian tekanan yang dapat menghambat laju aliran udara di koil pendingin.

#### c. Modifikasi

Modifikasi sistem tata udara merupakan langkah terakhir dalam kaitannya dengan penghematan energi jika usaha penghematan pada tahap operasional dan pemeliharaan belum mampu mencapai angka penggunaan energi spesifik yang diinginkan.

### 2. Rekomendasi

#### a. Sistem dan peralatan tata udara yang sederhana

- 1) Sistem tata udara jenis unitari (*unitary*) atau unit paket (*packaged unit*) dengan satu alat kontrol temperatur (*thermostat*) yang berfungsi mengontrol temperatur ruang atau daerah yang dilayani sistem tata udara, yang banyak digunakan di gedung komersial, merupakan sistem dan peralatan tata udara yang dikategorikan sederhana.
- 2) Kapasitas pendinginan peralatan tata udara sistem air harus mampu memenuhi kebutuhan beban pendinginan yang telah dihitung pada perhitungan awal beban pendinginan; kapasitas peralatan tata udara ini tidak diperkenankan melebihi beban pendinginan yang telah dihitung berdasarkan perhitungan beban pendingin.
- 3) Peralatan tata udara ini harus memenuhi kriteria efisiensi minimum. Kebenaran tingkat efisiensi harus diuji kebenarannya melalui data pabrik pembuatnya serta sertifikasi testing/pengujian dari lembaga sertifikasi yang diakui.

#### b. Sistem peralatan tata udara dengan sistem Chiller

- 1) Sistem chiller digunakan pada gedung komersial dengan kapasitas pendinginan lebih dari 600.000 Btu/jam (176 kW). Sistem ini memakai

media air sejuk yang disalurkan dengan pompa ke koil pendingin di Fan Coil Unit (FCU) untuk ruangan yang kecil atau di AHU (Air Handling Unit) untuk ruangan yang besar atau ruangan yang terbagi dalam lantai yang sama atau lantai yang berbeda.

- 2) Kapasitas pendinginan peralatan tata udara ini (Chiller) tidak diperkenankan melebihi kapasitas perhitungan beban pendinginan yang telah dihitung, kecuali
  - a) Ada keperluan disediakan peralatan cadangan (*standby*) di mana sistem harus dilengkapi dengan alat pengatur otomatis yang dapat beroperasi secara otomatis apabila peralatan utama tidak beroperasi.
  - b) Tidak dapat dielakkan penggunaan unit ganda yang keduanya mempunyai tipe peralatan yang sama di mana total kapasitas pendinginan keduanya melebihi perencanaan beban pendinginan; dalam hal ini sistem tersebut harus dilengkapi dengan alat kontrol yang mampu mengatur pengoperasian masing-masing unit sesuai dengan beban pendinginan dalam perencanaan.
- 3) Jumlah dan pengaturan kapasitas pendinginan unit Chiller harus memperhitungkan profil beban pendinginan dari gedung tersebut; pengoperasian unit Chiller, baik pada beban penuh maupun parsial, harus selalu berada pada tingkat efisiensi optimal. Untuk Chiller jenis sentrifugal harus dihindarkan pengoperasian kapasitas pendinginan kurang dari 50% dari kapasitas nominal.
- 4) Peralatan tata udara Chiller yang dimaksud harus memenuhi persyaratan dengan efisiensi minimum sesuai dengan yang tercantum dalam Tabel 2.1. Jika diperlukan pengetesan, cara dan prosedur testing harus sesuai dengan aturan yang berlaku. Tingkat efisiensi mesin harus diuji kebenarannya melalui data pabrik pembuatnya serta sertifikasi testing/pengujian dari lembaga sertifikasi yang diakui.

Tabel 2. 1 Efisiensi minimum dari peralatan tata udara yang dioperasikan dengan listrik

Tipe Mesin Refrigerasi	Efisiensi minimum	
	COP	KW/TR
Split < 65.000 BTU/h	2,70	1,303

Variable Refrigerant Value	3,70	0,951
Split Duct	2,60	1,353
Air Cooled Chiller < 150 TR (recip)	2,80	1,256
Air Cooled Chiller < 150 TR (screw)	2,90	1,213
Air Cooled Chiller > 150 TR (recip)	2,80	1,256
Air Cooled Chiller > 150 TR (screw)	3,00	1,172
Water Cooled Chiller < 150 TR (recip)	4,00	0,879
Water Cooled Chiller < 150 TR (screw)	4,10	0,858
Water Cooled Chiller < 150 TR (recip)	4,26	0,826
Water Cooled Chiller < 150 TR (screw)	4,40	0,799
Water Cooled Chiller < 150 TR (centrifugal)	6,05	0,581

*Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2011*

### 2.5.2 Konservasi energi pada sistem pencahayaan

Konservasi energi pada sistem pencahayaan telah diatur dalam SNI 6197:2011 mengenai ketentuan pedoman pencahayaan pada bangunan gedung untuk memperoleh sistem pencahayaan dengan pengoperasian yang optimal sehingga penggunaan energi lebih efisien tanpa harus mengurangi dan atau mengubah fungsi bangunan, kenyamanan dan produktivitas penghuni, serta mempertimbangkan aspek ramah lingkungan dan biaya.

#### 1. Persyaratan teknis pencahayaan

##### a. Pencahayaan alami

Pencahayaan alami harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

Pencahayaan alami dalam bangunan gedung harus memenuhi ketentuan SNI 03 – 2396–2001, tentang tata cara perancangan sistem pencahayaan alami pada bangunan gedung. Dalam pemanfaatannya, radiasi yang ditimbulkan oleh cahaya matahari langsung ke dalam bangunan gedung harus dibuat seminimal mungkin untuk menghindari timbulnya peningkatan temperatur pada ruang dalam bangunan. Cahaya langit bukaan transparan pada bangunan harus diutamakan daripada cahaya matahari langsung. Cahaya alami di siang hari harus dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya sebagai alternatif cahaya tambahan untuk mengurangi penggunaan energi listrik pada bangunan dengan mempertimbangkan aspek-aspek sistem terkait.

##### b. Pencahayaan buatan

##### 1) Tingkat pencahayaan minimal

Tingkat pencahayaan minimal yang direkomendasikan tidak boleh kurang dari tingkat pencahayaan pada tabel berikut

Tabel 2. 1 Tingkat pencahayaan rata-rata, renderasi, dan temperatur warna yang direkomendasikan

Fungsi Ruang Kantor	Tingkat pencahayaan (lux)	Kelompok renderasi warna	Temperatur warna		
			Warm <3300 Kelvin	Warm white 3300 Kelvin – 5300 Kelvin	Cool Daylight >5300 Kelvin
R. Resepsionis	300	1 atau 2	•	•	
R. direktur	350	1 atau 2		•	•
R. kerja	350	1 atau 2		•	•
R. komputer	350	1 atau 2		•	•
R. rapat	300	1	•	•	
R. gambar	750	1 atau 2		•	•
R. arsip	150	1 atau 2		•	•
R. arsip aktif	300	1 atau 2		•	•
R. tangga darurat	150	1 atau 2			•
R. parkir	150	3 atau 4			•

Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2011

## 2) Daya listrik maksimum untuk pencahayaan

Daya listrik maksimum per meter persegi tidak boleh melebihi nilai sebagaimana tercantum pada tabel berikut

Tabel 2. 2 Daya listrik maksimum untuk pencahayaan

Fungsi Ruang Kantor	Daya pencahayaan maksimum (W/m <sup>2</sup> )
R. Resepsionis	13
R. direktur	13
R. kerja	12
R. komputer	12
R. rapat	12
R. gambar	20



R. arsip	6
R. arsip aktif	12
R. tangga darurat	4
parkir	4

*Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2011*

### 3) Iluminans dan beban pencahayaan terpasang per meter persegi

Iluminasi dan beban pencahayaan terpasang per meter persegi diharapkan dapat mencapai target acuan seperti pada tabel 2.5

*Tabel 2. 3 iluminans dan beban pencahayaan terpasang per meter persegi*

Nilai iluminans nominal	Nilai beba pencahayaan sebagai pedoman	
	Standar (W/m <sup>2</sup> )	Target acuan (W/m <sup>2</sup> )
50	3,2	2,5
100	4,5	3,5
300	10,0	7,5
500	15,0	11,0
750	20,0	16,0
1000	25,0	21,0

*Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2011*

### 4) Efisiensi energi sistem pencahayaan

Menggunakan lampu yang mempunyai efikasi lebih tinggi dan menghindari pemakaian lampu dengan efikasi rendah. Jenis lampu yang ada di pasaran.

### 5) Pemanfaatan cahaya alami

Pencahayaan tidak langsung yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan pencahayaan di dalam ruangan.

## 2. Peluang penghematan energi sistem pencahayaan

### a. Penggunaan lampu yang efisien

Pemasangan lampu sebaiknya menggunakan lampu efisien energi seperti lampu fluoresen “T8” dan “T5”.

Tabel 2. 4 Perbandingan efikasi luminus dari lampu yang umum

Jenis lampu	Lumen/Watt	Umur rata-rata. (jam operasi)
Incandescent ( pijar)	12 ~ 15	1.000
Halogen	15 ~ 25	2.000 ~ 5.000
Merkuri	30 ~ 50	24.000
Fluoresen Kompak	40 ~ 80	8.000 ~ 12.000
Fluoresen tabung	50 ~ 100	10.000 ~ 15.000
Fluoresen tabung “T8”	90	12.000
Fluoresen tabung “T5”	105	17.000
Sodium tekanan tinggi	60 ~ 110	24.000
Sodium tekanan rendah	70 ~ 180	18.000
LED (Light Emitting Diode)	70	40.000

Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2011

Efikasi luminus adalah perbandingan lumen yang dipancarkan oleh lampu terhadap konsumsi daya listrik (Watt). Menggunakan lampu T5 dikombinasikan dengan ballast elektronik frekuensi tinggi dapat menghemat energi sampai dengan 40% dibandingkan dengan lampu fluoresen standar.

b. Penggunaan alat sensor

1) Penggunaan alat sensor penghuni

Dengan menggunakan alat sensor penghuni, lampu ruang akan menyala hanya jika penghuni berada di ruang yang mempunyai pola variabel, seperti tangga, toilet, gymnasium dan lain-lain.

2) Penggunaan alat sensor intensitas

Alat sensor ini bekerja berdasarkan intensitas cahaya (lux) yang telah diset dalam suatu ruang. Jika ruangan kelebihan cahaya (akibat sinar matahari) maka intensitas cahaya ruangan otomatis akan menurun. Jika cahaya matahari berkurang, maka intensitas cahaya ruangan otomatis akan naik sampai kepada lux level yang sudah ditentukan. Yang perlu diperhatikan, penghematan energi mungkin tidak terealisasi jika sensor tersebut dipasang pada ruangan yang bersifat khusus atau memiliki kriteria-kriteria khusus. Sehingga adanya sensor ini justru akan mengganggu aktivitas yang ada di dalamnya. Selain itu pemasangan sensor harus direncanakan secara

matang dan disarankan ditest terlebih dahulu untuk memastikan kegunaannya secara optimal.

c. Penggunaan penjadwalan

Untuk ruangan dimana kebutuhan dapat diperkirakan dan dapat ditentukan, penggunaan kontrol penjadwalan secara otomatis untuk menghidupkan dan mematikan lampu akan menghemat energi.

Yang perlu diperhatikan:

- 1) Beberapa lokasi dengan kontrol ganda (otomatis-manual) sebaiknya disediakan untuk lokasi dimana pencahayaan dibutuhkan melewati periode yang terjadwal. Ini akan mencegah iluminans yang tidak perlu pada seluruh daerah.
- 2) Pegaturan melalui Pusat Manajemen Bangunan (BMS – *Building Management System*).

d. Penggunaan *Dimmer*

Tingkat pencahayaan di suatu area dapat diturunkan pada saat tertentu, misalnya ketika meninggalkan ruang kerja iluminans bisa dikurangi dengan menggunakan *dimmer*.

e. Pengelompokan area pengkawatan

Pengkawatan multi sirkit digunakan untuk memfasilitasi beragam kebutuhan tingkat pencahayaan. Untuk menghemat energi pada sistem pencahayaan di kelompok koridor, jalur terusan dan ruangan dekat daerah jendela dengan cara memanfaatkan pencahayaan alami dipasang multi sirkit. Untuk menghemat energi pada kelompok area di luar bangunan, dapat digunakan *timer* dan *fotocell*.

## 2.6 Tinjauan Penelitian Terdahulu

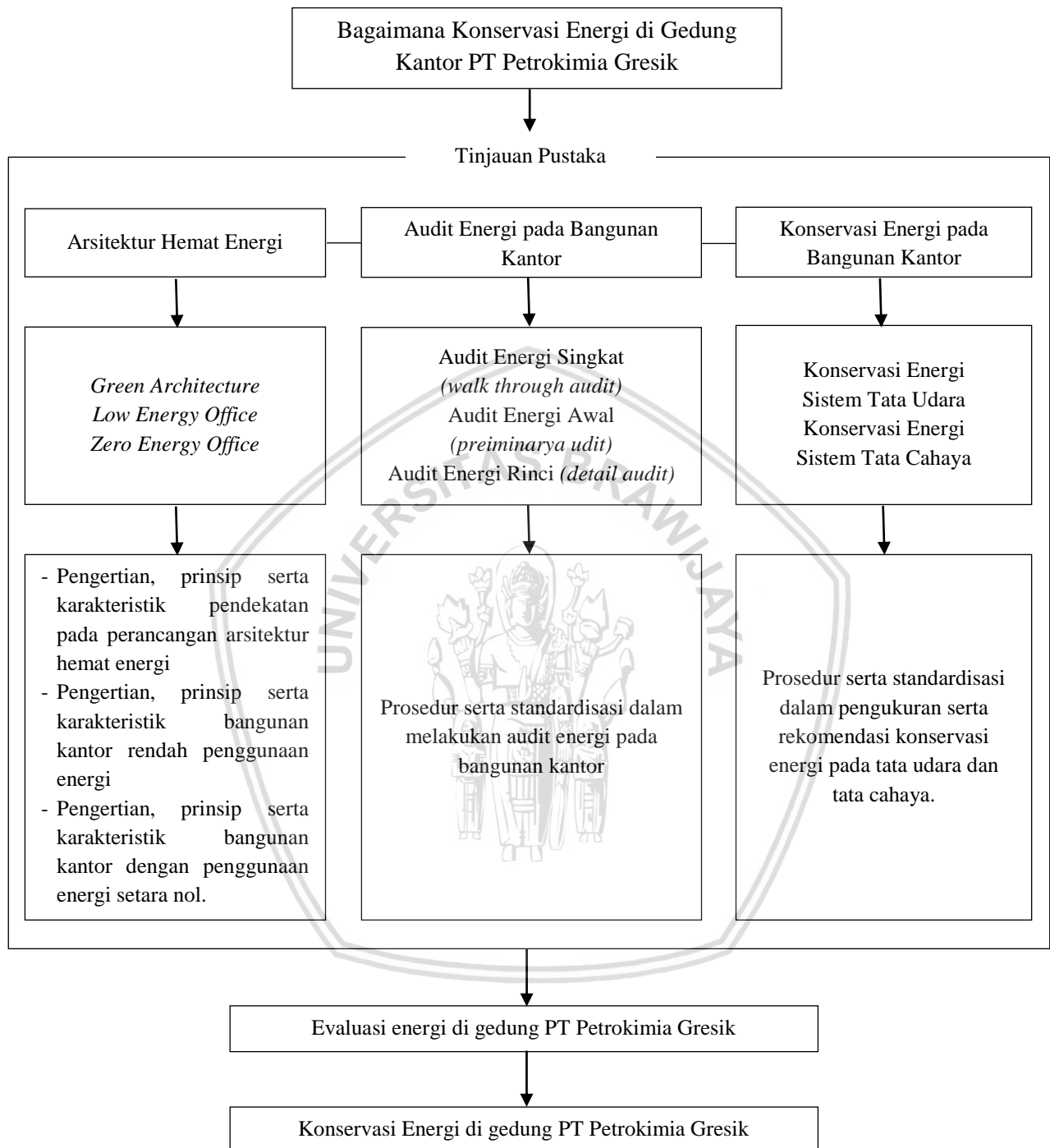
Berikut merupakan perbandingan mengenai penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya sebagai acuan untuk dikembangkan dalam penelitian ini

Tabel 2. 5 Komparasi penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian	Kontribusi Penelitian
1	<b>Audit Energi pada Bangunan</b>	• Pembahasan mengenai objek yang

	<b>Gedung Perkebunan (Persero)</b> Direksi Nusantara XIII Oleh Marzuki, Achmad. dan Rusman (2012)	PT. sama yakni gedung kantor. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melakukan audit energi dalam penelitian berdasarkan SNI audit energi tahun 2000.</li> <li>• Memberikan rekomendasi peluang energi secara ril pada objek penelitian.</li> </ul>
2	<b>Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Efisiensi Penggunaan Energi di Gedung FPMIPA JICA universitas Pendidikan Indonesia</b> Oleh Mulyadi, Yadi. dan Rizki, Anggi. et al. (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melakukan audit energi ketenagalistrikan dalam penelitian</li> <li>• Membagi fokus kajian meliputi sistem tata udara, tingkat kuat cahaya, analisa IKE, dan analisa kualitas daya listrik</li> <li>• Memberikan rekomendasi peluang peningkatan efisiensi energi pada sistem penerangan, tata udara dan kualitas daya listrik</li> </ul>
3	<b>Audit Energi dan Analisa Peluang Hemat Energi pada Bangunan Gedung PT. X</b> Oleh Septian, Derry. dan Prihartono, Joko. et al. (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melakukan audit energi dalam penelitian berdasarkan SNI audit energi tahun 2000.</li> <li>• Memberikan analisa peluang hemat energi</li> </ul>
4	<b>Audit Energi Listrik pada PT. X</b> Oleh Rahayu, Nirita N. dan Suhendi, Dede. et al. (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melakukan audit energi ketenagalistrikan dalam penelitian.</li> <li>• Menganalisa konsumsi dan biaya energi pada objek penelitian.</li> <li>• Memberikan langkah-langkah penghematan.</li> <li>• Memberikan perbandingan sebelum dan sesudah penghematan dilakukan.</li> </ul>

## 2.7 Kerangka Teori



Gambar 2. 6 Diagram Kerangka Teori



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Umum**

Penelitian ini secara umum menggunakan 2 metode penelitian yakni metode deskriptif evaluatif serta metode eksperimental. Kedua metode tersebut digunakan secara serial dimana pada metode deskriptif evaluatif digunakan sebagai pengumpulan data dilanjutkan dengan metode eksperimental untuk mengkaji rekayasa selubung bangunan yang sesuai dalam mencapai tujuan penelitian.

Metode deskriptif evaluatif digunakan untuk menguraikan secara ril kondisi eksisting, mengevaluasi kinerja desain pasif bangunan, serta mengukur dan mengkaji pola penggunaan energi pada Gedung PT Petrokimia Gresik. Penjabaran kondisi eksisting objek studi dilakukan secara observasi maupun wawancara terhadap pengelola bangunan. Pengukuran penggunaan energi bangunan digunakan metode audit energi yang mengacu pada prosedur audit energi SNI 6196:2011 yang menghasilkan data akhir Indeks Konsumsi Energi (IKE) serta Peluang Konservasi Energi (PKE) yang memungkinkan. Peluang konservasi energi tersebut dilakukan berdasarkan analisa keseluruhan data yang terkumpul dan direkomendasikan melalui pendekatan arsitektural dan teknis.

Adapun metode eksperimental digunakan dalam mengkaji rekomendasi baik dalam pendekatan arsitektural maupun teknis. Dalam pendekatan arsitektural dilakukan langkah rekayasa desain selubung bangunan serta simulasi dengan menggunakan *software* untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang memungkinkan, sedang dalam pendekatan teknis dilakukan langkah rekalkulasi penggunaan energi berdasarkan pendekatan konservasi pada utilitas yang ada. Waktu pada penelitian ini dilakukan pada bulan Februari - Maret 2018.

#### **3.2 Metode Audit Energi**

Metode audit energi pada gedung PT Petrokimia Gresik mengacu pada prosedur evaluasi yang meliputi beberapa tahapan, antara lain;

##### **3.2.1 Audit Energi Singkat**

Pada audit ini dilakukan beberapa tahapan yang meliputi;

1. Persiapan

Tahap ini meliputi persiapan jadwal singkat pengamatan, dokumen daftar periksa terkait riwayat penggunaan energi listrik, dan sumber daya manusia (SDM) yang menangani bidang kelistrikan pada objek studi.

## 2. Pengumpulan data

Tahap ini meliputi pengumpulan data fisik bangunan, data kelistrikan bangunan, riwayat pembayaran listrik bulanan bangunan selama tahun 2016 dan 2017 serta observasi visual secara singkat.

## 3. Perhitungan dan analisis data

Perhitungan dilakukan menggunakan data yang terkumpul dengan hasil berupa intensitas konsumsi energi ( $\text{kWh/m}^2/\text{tahun}$ ) selama 2 tahun terakhir. Hasil lain berupa perbandingan IKE yang diperoleh dengan standar IKE bangunan kantor pada umumnya, serta pilihan untuk melanjutkan ke audit rinci.

### 3.2.2 Audit Energi Rinci

Pada audit ini dilakukan beberapa tahapan yang meliputi;

#### 1. Persiapan

Persiapan pada audit ini meliputi penyiapan jadwal pengukuran, dokumen ceklis perangkat listrik, alat ukur, sumber daya manusia (SDM) sesuai bidang kelistrikan gedung.

#### 2. Pengumpulan data

##### a. Data historis

Meliputi dokumentasi bangunan yang sesuai gambar konstruksi mencakup;

- 1) tapak, denah, potongan, dan tampak bangunan.
- 2) denah instalasi elemen pengguna listrik utama bangunan seluruh lantai,
- 3) riwayat pembayaran rekening listrik.

##### b. Pengukuran

Tahap ini meliputi pengukuran dan pengamatan langsung pada elemen utama pengguna listrik yang dibagi menjadi 4 aspek; pencahayaan (*lighting*), pendinginan (*cooling*), transportasi (*transportation*), dan peralatan kantor (*office appliances*).

##### 1) Pencahayaan

Pengumpulan data terkait kelistrikan penerangan terpasang dan titik lampu. Pengukuran kuat terang cahaya alami maupun buatan dalam ruangan dilakukan dengan menggunakan *luxmeter* pada beberapa titik ruang

utama sebagai sample untuk mengetahui tingkat kenyamanan visual yang ada. Data beban penggunaan listrik pada aspek ini didapatkan dari perhitungan jumlah titik lampu, spesifikasi elemen penerangan yang digunakan, serta pola penggunaannya.

## 2) Pendinginan

Pengumpulan data dibagi atas jenis pendinginan yang digunakan. Pada pendingin sentral digunakan pengukuran langsung kuat arus pada panel mesin pendingin dengan alat ukur tangmeter sehingga diketahui secara ril besar daya yang digunakan. Sedangkan pada pendingin unit, data penggunaan beban didapatkan dari jumlah unit, spesifikasi serta pola penggunaannya.

## 3) Transportasi

Pengumpulan data pembebanan mengacu pada besar beban motor elemen transportasi yang ada serta pola penggunaannya.

## 4) Peralatan kantor

Pengumpulan data penggunaan beban peralatan kantor didapat dari pengukuran kuat arus pada masing-masing panel listrik di setiap lantai dengan menggunakan alat tangmeter. Pengukuran kuat arus dikonversi kedalam satuan daya untuk mengetahui total penggunaan beban listrik secara ril.

## c. Observasi visual

Tahap ini meliputi pengumpulan data berdasarkan observasi langsung dan hasil wawancara dengan operator terkait dengan kinerja operasi penggunaan energi serta aspek arsitektural yang memiliki keterkaitan dengan penggunaan energi dalam bangunan.

## 3. Perhitungan dan analisis data

Perhitungan dilakukan berdasarkan penggunaan total serta penggunaan masing-masing aspek untuk profil dan penghematan penggunaan energi. Dari perhitungan tersebut diketahui;

- a. IKE atau indeks konsumsi energi persatuan luas dalam kurun waktu satu tahun ( $\text{kWh/m}^2/\text{tahun}$ ) baik secara keseluruhan maupun perbagian.
- b. Potret penggunaan energi menyeluruh dan perbagian serta keterkaitannya.
- c. Peluang yang didapatkan dari masukan observasi dan audit energi dalam rangka konservasi energi baik secara perbagian maupun menyeluruh.

d. pertimbangan rekomendasi berdasarkan PKE yang diperoleh

### 3.3 Analisis Rekomendasi

Data yang diperoleh dari observasi serta audit energi dianalisis berdasarkan aspek-aspek penggunaan energi sehingga didapat Peluang Konservasi Energi (PKE) baik secara arsitektural maupun teknis. Peluang tersebut digunakan sebagai acuan analisis rekomendasi dengan memunculkan beberapa alternatif selubung bangunan guna mencapai penghematan energi bangunan. Alternatif desain selubung bangunan disimulasikan dengan menggunakan *software* simulasi untuk mengetahui prosentase penghematan yang didapat. Adapun alternatif yang bersifat teknis dilakukan kalkulasi secara langsung untuk mengetahui prosentase penghematan yang dicapai.

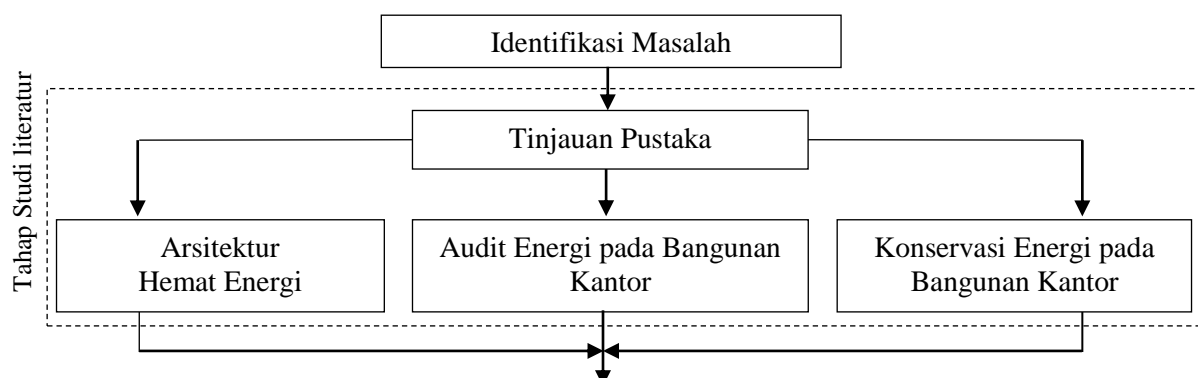
### 3.4 Simulasi Rekomendasi

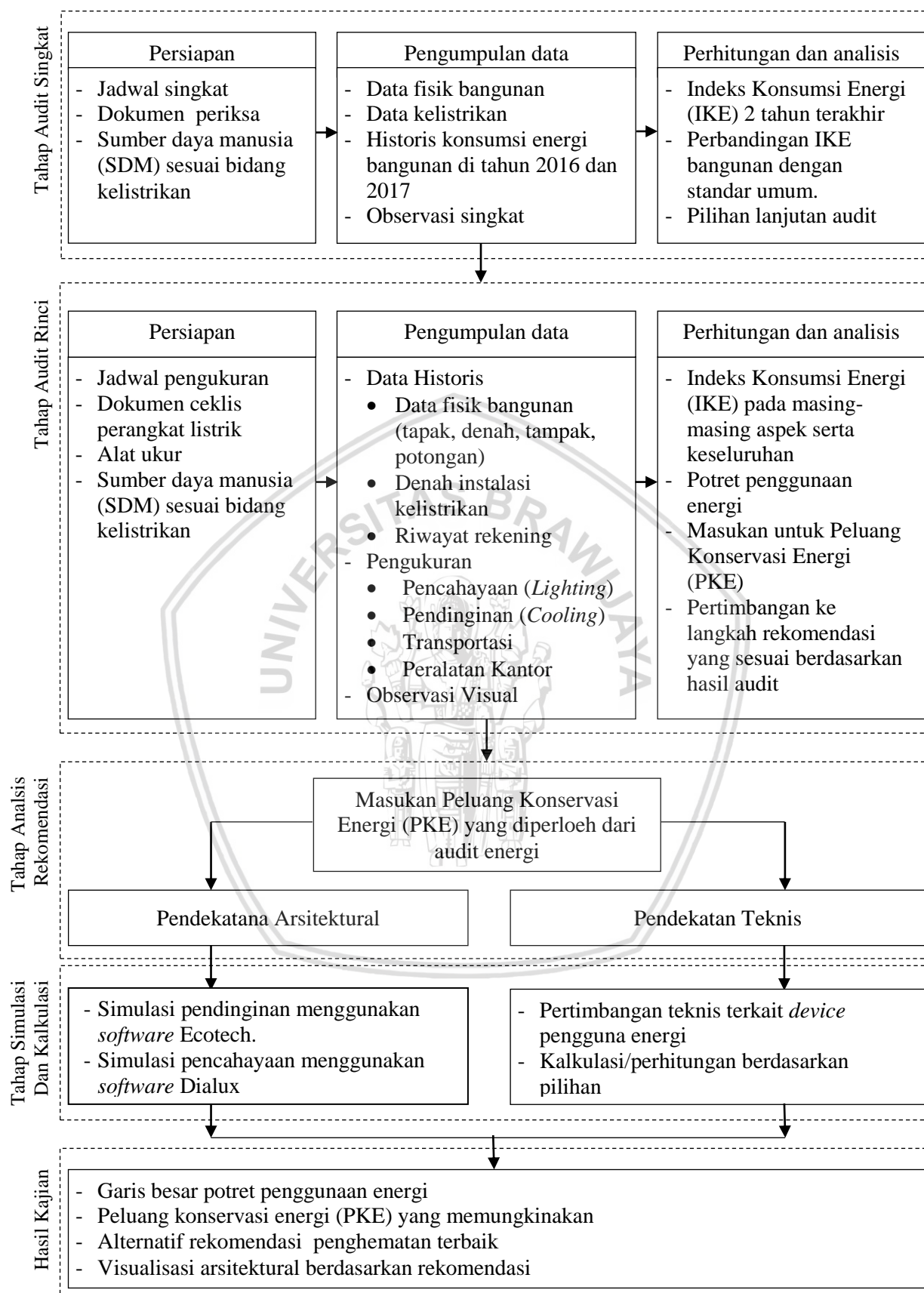
Simulasi digunakan sebagai pembuktian seberapa besar ketercapaian penghematan energi pada objek studi melalui pendekatan arsitektural. Metode ini digunakan pada pendekatan aspek pendinginan serta pencahayaan dengan menggunakan *software* Autodesk Ecotect Analysis 2011 dan Dialux 4.13. Hasil simulasi tersebut akan memberikan perbandingan antara kondisi eksisting dan beberapa alternatif rekomendasi yang telah didapat dari analisis PKE.

### 3.5 Hasil Kajian

Hasil kajian penelitian berupa garis besar profil penggunaan energi pada gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik, Peluang Konservasi Energi (PKE) yang diperoleh, alternatif rekomendasi desain selubung bangunan serta visualisasi akhir objek studi sesuai alternatif penghematan terbaik yang direkomendasikan.

### 3.6 Kerangka Metode Penelitian





Gambar 3. 1 Diagram kerangka pemikiran



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Gambaran Umum Gedung Kantor Pusat PT Petrokimia Gresik

Gedung kantor pusat PT Petrokimia terletak di area bundaran kawasan Petrokimia tepatnya di Jalan Achmad Yani, Kota Gresik. Secara astronomis gedung ini terletak pada koordinat  $7^{\circ}09'25''$  LS dan  $112^{\circ}38'25''$  BT. Gedung ini merupakan salah satu gedung *high rise* di Kota Gresik. Telah berdiri selama 25 tahun tepatnya didirikan pada tahun 1992. Tata letak bangunan kental mengusung langgam modern yang sangat ditampakkan dari besarnya proporsi material transparan serta bentuk geometris bangunan yang minimalis. Secara keseluruhan gedung ini memiliki luas lantai  $11.004 \text{ m}^2$  dan terdiri atas 9 lantai. Terbagi atas podium yang difungsikan sebagai hall serta tower yang difungsikan sebagai kantor.

Gedung ini terletak pada kawasan perindustrian Petrokimia yang tertata serta memiliki banyak ruang terbuka hijau. Terdapat pula retensi air telaga Ngipik pada area tersebut yang dikelola oleh PT Semen Indonesia. Memiliki iklim tropis lembab dengan temperatur rata-rata harian mencapai  $33^{\circ}\text{C}$ . Rata-rata lama terang matahari yang diterima adalah 12 jam dalam sehari.



Gambar 4. 1 Tampak gedung PT Petrokimia Gresik dari telaga Ngipik

Sumber : InBaliTimur, 2008

Gedung kantor pusat PT Petrokimia merupakan aset yang dimiliki oleh PT Petrokimia Gresik, namun saat ini pengelolaan gedung dijalankan oleh PT Graha Sarana

Gresik (GSG). Selain mengelola gedung, PT Graha Sarana Gresik juga menyewa serta menyewakan ruang untuk bermitra dengan perusahaan-perusahaan lain.

#### 4.1.1 Aspek Lingkungan dan Tapak

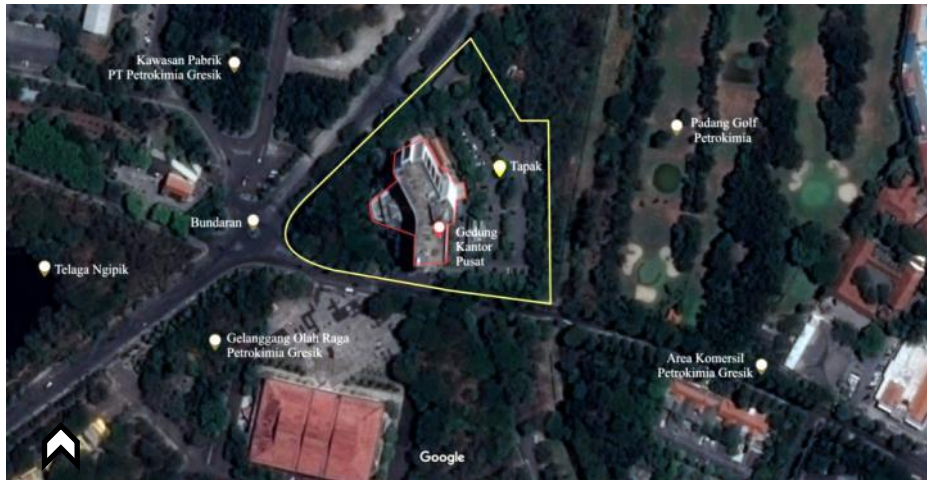
Tapak gedung kantor pusat PT Petrokimia terletak di dalam kawasan industri Petrokimia Gresik. Lebih tepatnya berada pada zona komersil Petrokimia. Zona tersebut membentuk sebuah integrasi antar bangunan komersil milik Petrokimia seperti Rumah Sakit Petrokimia, Masjid Petrokimia, Swalayan dan kios, Gelanggang Olah Raga, serta Perumahan Petrokimia. Lingkungan gedung objek studi berada pada lingkungan yang terbuka dan memiliki intensitas ruang hijau yang luas. Adapun batas-batas tapak pada sisi utara tapak merupakan kawasan pabrik Petrokimia, pada sisi barat merupakan kawasan terbuka serta telaga Ngipik, pada sisi selatan terdapat gelanggang olahraga PT Petrokimia, sedang pada sisi timur merupakan ruang terbuka golf dan area komersil Petrokimia.



Gambar 4. 2 Peta kawasan sekitar gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik

Sumber : [www.wikimapia.org](http://www.wikimapia.org), 2018

Tapak memiliki luas 12.384,5 m<sup>2</sup> dengan area dasar terbangun seluas 1.480 m<sup>2</sup>. Perbandingan yang dimiliki antara area terbuka dengan area dasar terbangun adalah 1:0,12 atau area dasar terbangun setara 12% dari luas tapak. Area dasar tak terbangun difungsikan sebagai ruang parkir kendaraan serta lansekap. Minimnya area dasar terbangun menjadikan lingkungan gedung memiliki area hijau yang baik. Secara tampak, gedung tidak terhalang maupun terbayang oleh gedung-gedung lainnya.



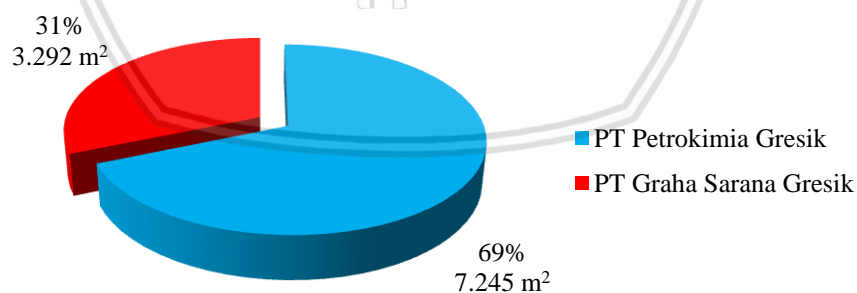
Gambar 4. 3 Lingkungan gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik

Sumber : [www.google.com/earth](http://www.google.com/earth), 2018

#### 4.1.2 Aspek Bangunan

##### 1. Fungsi Ruang dan Pemakaian

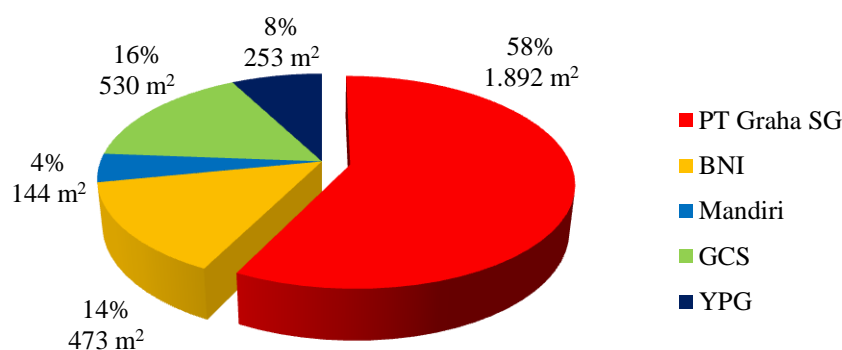
Gedung kantor pusat PT Petrokimia memiliki 9 lantai dengan 3 lantai dasar tersambung dengan podium (Anex). Total luas ruang yang disewakan adalah 10.537 m<sup>2</sup> dengan pembagian 69% luas ruang digunakan oleh PT Petrokimia Gresik sedang 31% sisanya digunakan oleh PT Graha Sarana Gresik (GSG). PT Petrokimia menggunakan ruang kantor sebagai direksional pabrik PT Petrokimia secara kepemilikan pribadi tanpa adanya sewa.



Gambar 4. 4 Komposisi pemakaian ruang kantor pusat PT Petrokimia Gresik

Meskipun penggunaan oleh PT Petrokimia lebih besar, pengelolaan gedung tetap dilaksanakan oleh PT GSG sesuai kontrak. PT Graha Sarana menyewa ruang untuk ruang kerja pribadi serta untuk disewakan kepada

perusahaan lain. Sedangkan Hall serta *meeting room* pada Anex, dikelola oleh PT GSG untuk disewakan secara publik.



Gambar 4. 5 komposisi pemakaian ruang yang disewa oleh Graha Sarana

Adapun pemakai ruang di setiap lantai gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik dijelaskan pada tabel berikut

Tabel 4. 1 Pemakai ruang pada gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik

Lantai	Pemakai	Kepemilikan
Dasar	BNI	BNI
	Keu PG	Petrokimia
Dasar (Anex)	Graha Travel	GSG
	Bank Mandiri	Mandiri
Satu	PT Graha Sarana	GSG
Satu (Anex)	GP3K	
Dua	PT Graha Sarana	GSG
Dua (Anex)	Hall (GSG)	GSG
Tiga	Pengadaan	Petrokimia
	Jastekon	
	DW 1&2	
Empat	Anggaran	Petrokimia
	Akuntansi	
	Rendal	
	Humas	
Lima	YPG	YPG

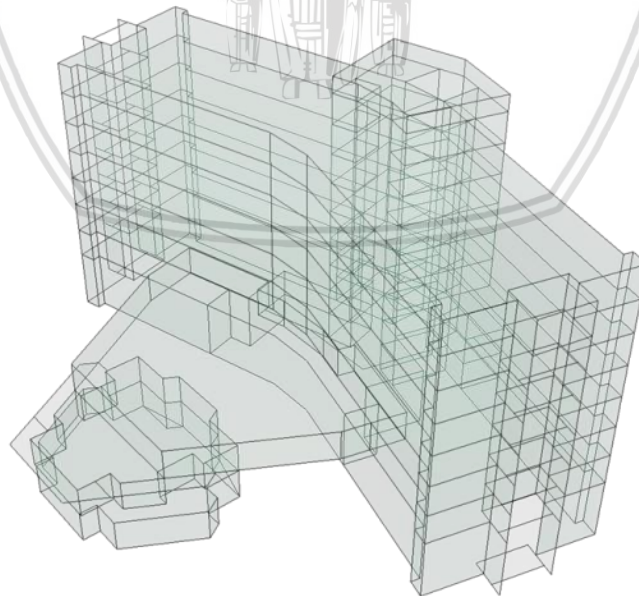


	Bangha	Petrokimia
	Yankomduk	
	MR	
Enam	GCS	GCS
	Biro Hukum	Petrokimia
	Sekretariat	
	Canminsar	
	Lolaanper	
Tujuh	PPRW.1 & 2	Petrokimia
	PPNPJ	
	Korporasi	
Delapan	Direksi & Sedit	Petrokimia

*Sumber : Arsip Kantor Pusat PT. Petrokimia Gresik*

## 2. Massa dan Orientasi Bangunan

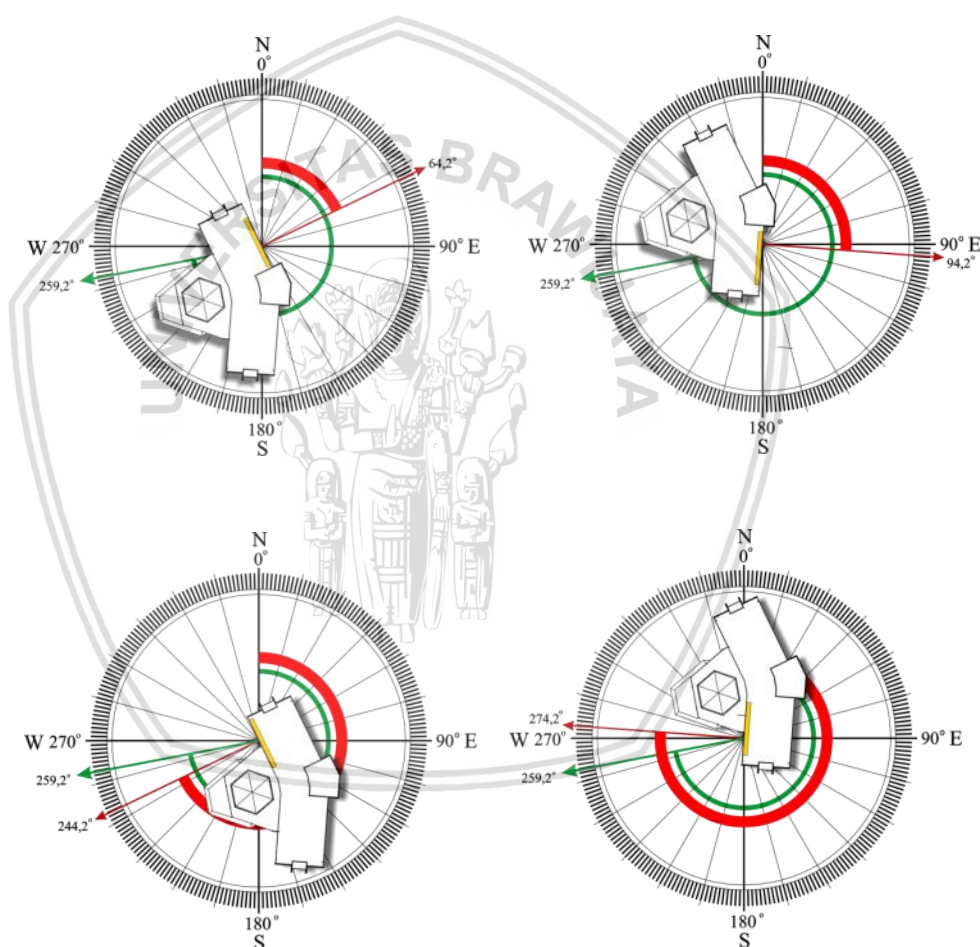
Bangunan objek studi memiliki massa tower tunggal dan podium yang menonjol ke depan di bagian bawahnya. Tower memiliki bentuk persegi panjang dengan tekukan di bagian tengah sedangkan podium memiliki bentuk segi enam dengan sebagian mengalami *interlock* dengan massa tower.



*Gambar 4. 6 Bentuk massa bangunan gedung kantor pusat PT Petrokimia*



Secara perletakkan, orientasi muka bangunan menghadap ke arah barat dengan sisi terpanjang bangunan membujur utara-selatan. Tekukan pada tengah bangunan menjadikan sisi terpanjang bangunan menghadap ke 4 arah orientasi yang berbeda. Orientasi utama bangunan menghadap pada sudut jurusan  $259,2^\circ$  sedang sisi terpanjang terbagi dengan hadapan sudut jurusan timur  $64,2^\circ$ , sudut jurusan timur  $94,2^\circ$ , sudut jurusan barat  $244,2^\circ$ , dan sudut jurusan barat  $274,2^\circ$ . Perbedaan ini menjadikan masing-masing sisi bangunan memiliki sifat yang berbeda terkait arah edar matahari yang berpengaruh pada intensitas serta sudut arah datangnya sinar.



Gambar 4. 7 Sudut jurusan masing-masing bukaan bangunan terhadap sudut jurusan utara 0

### 3. Selubung Bangunan

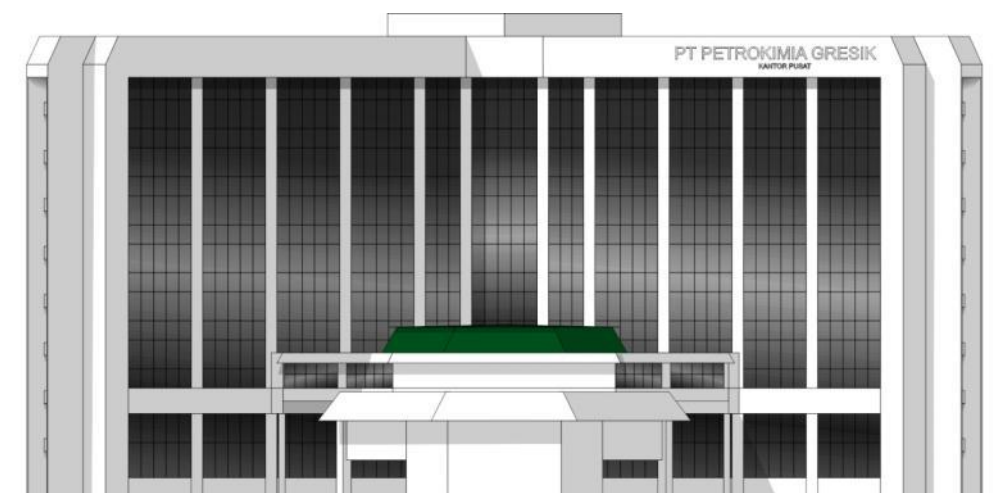
Selubung bangunan pada objek studi didominasi oleh penggunaan material transparan sebagai bukaan yang diteruskan dari lantai bawah hingga ke lantai atas. Penggunaan material tersebut sengaja ditujukan untuk menguatkan

langgam modern yang ingin ditonjolkan di masa pembangunan bangunan. Luas bukaan pada sisi depan yang menghadap barat mencapai 1.729,875 m<sup>2</sup> atau 79,5% dari luas bidang. Sedangkan pada sisi belakang yang menghadap timur mencapai 1251,02 m<sup>2</sup> atau 50% dari luas sisi tersebut. Material yang digunakan pada bukaan adalah kaca *rayban* setebal 8mm dengan lapisan film.

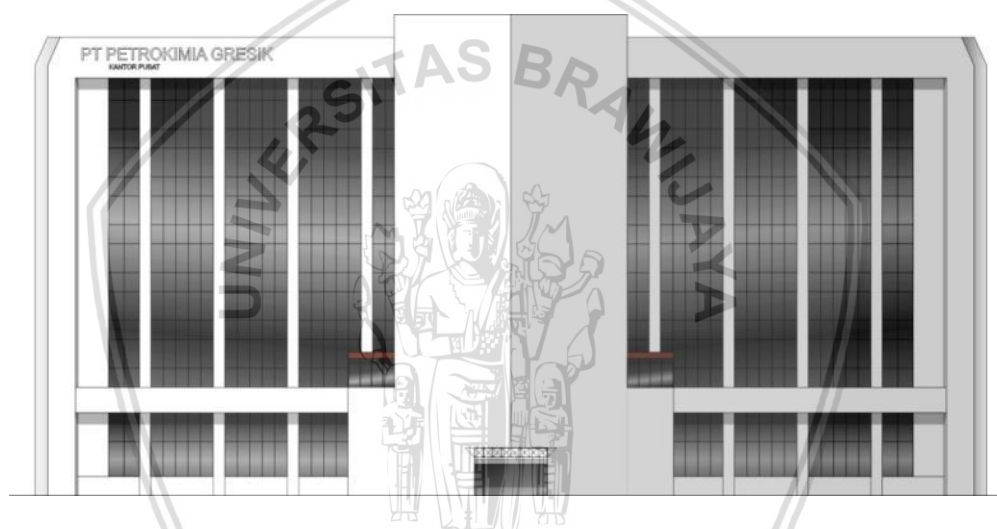


Gambar 4. 8 Tampak bukaan pada selubung belakang bangunan

Sisi transparan tersebut dominan menghadap ke arah edar matahari sehingga mendapatkan banyak paparan sinar matahari di setiap harinya. Pada pagi hari, sisi timur mendapatkan sinar matahari langsung yang diteruskan masuk ke dalam ruang dalam, sedang pada sisi barat mendapatkan naungan dan hanya menerima sinar *diffuse*. Hal ini berlaku sebaliknya apabila matahari sudah condong ke barat atau sore hari. Dapat dipastikan bahwa perimeter terpanjang bangunan ini secara bergantian menanggung beban kalor yang diterima dari sinar matahari langsung sepanjang hari.



Gambar 4. 9 Tampak depan gedung kantor Petrokimia Gresik yang menghadap arah barat



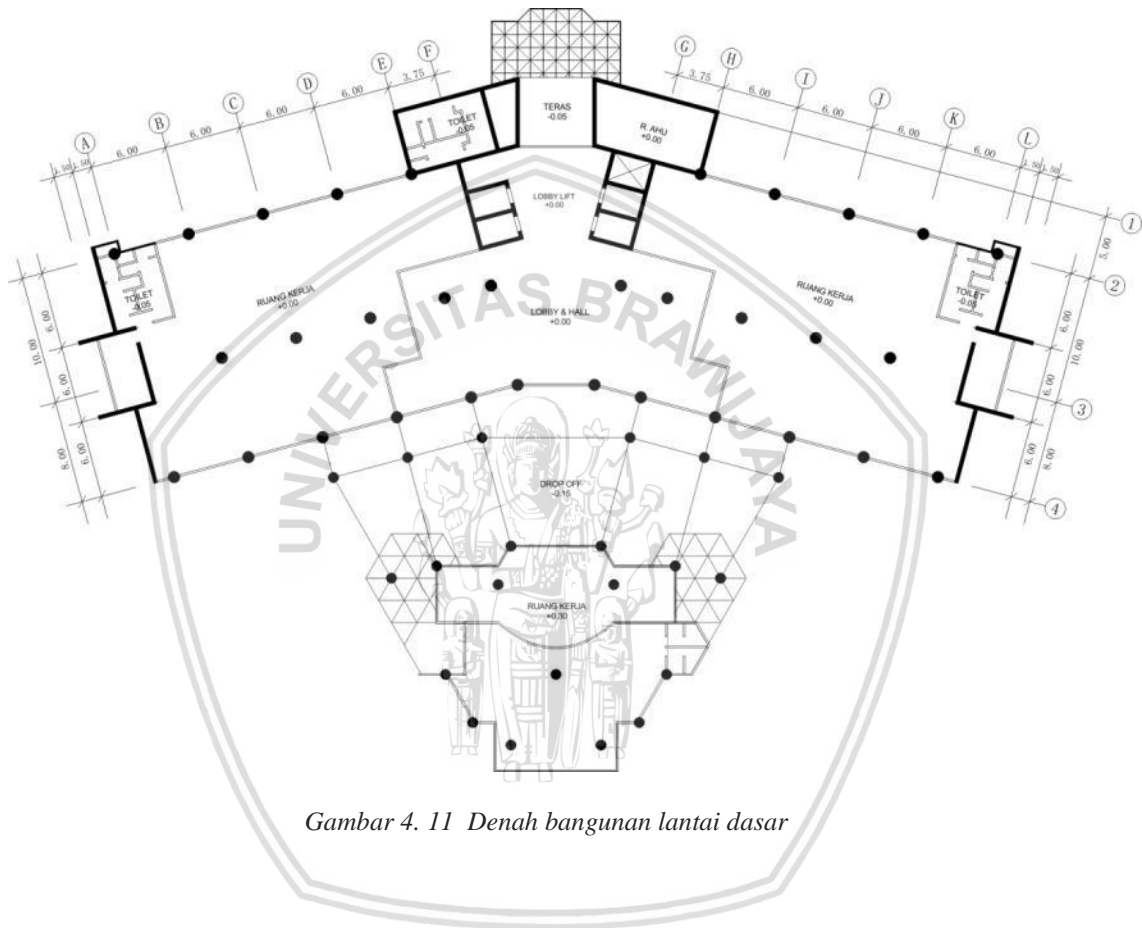
Gambar 4. 10 Tampak belakang gedung kantor Petrokimia Gresik yang menghadap arah timur

Pada selubung yang masif digunakan material bata dinding dan beton dengan *finishing* luar warna putih. Area masif ini dominan menghadap pada sisi utara dan selatan dengan panjang mencapai 18m. Area masif juga dijumpai pada sisi belakang yang merupakan *core* bangunan.

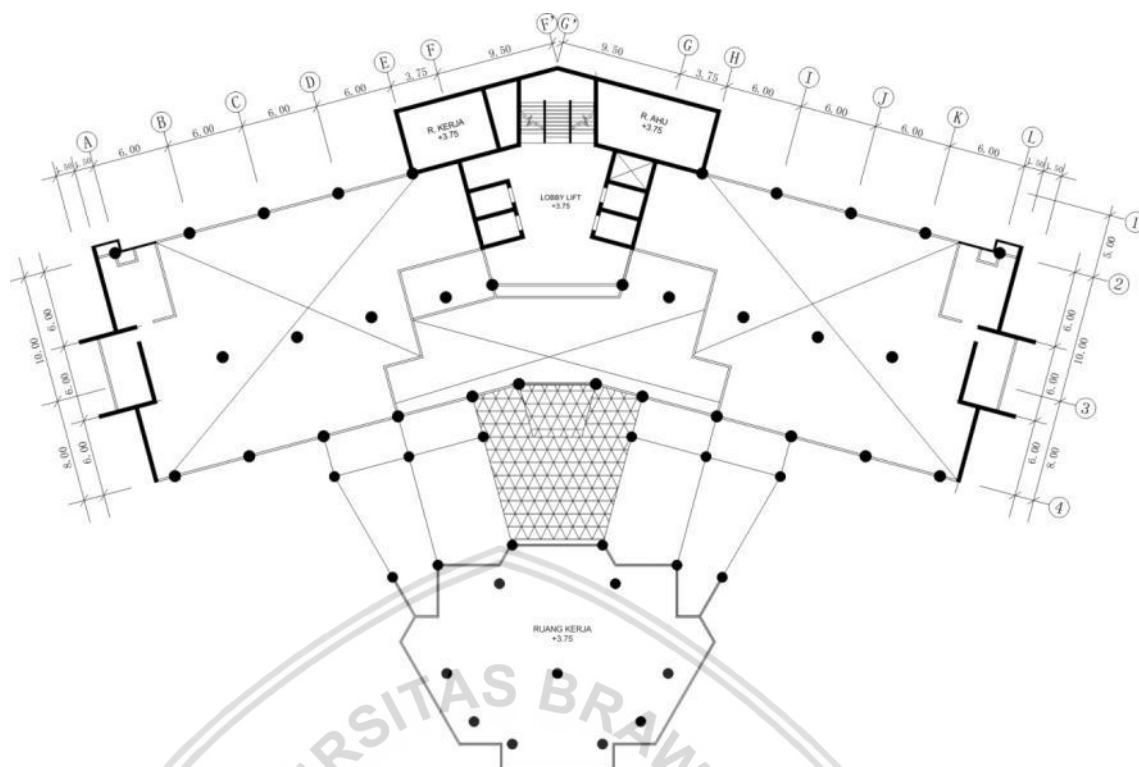
#### 4. Ruang Dalam

Secara umum, pembagian ruang utama bangunan termasuk dalam karakteristik pembagian ruang *double loaded*, meskipun saat ini pada beberapa ruang sudah mengalami perubahan sekat sesuai keperluan penyewa kantor. Pembagian dual ruang ini sejajar dengan arah bujur bangunan, sehingga ruang-ruang utama berada tepat pada sisi terpanjang bangunan. Koridor yang membagi

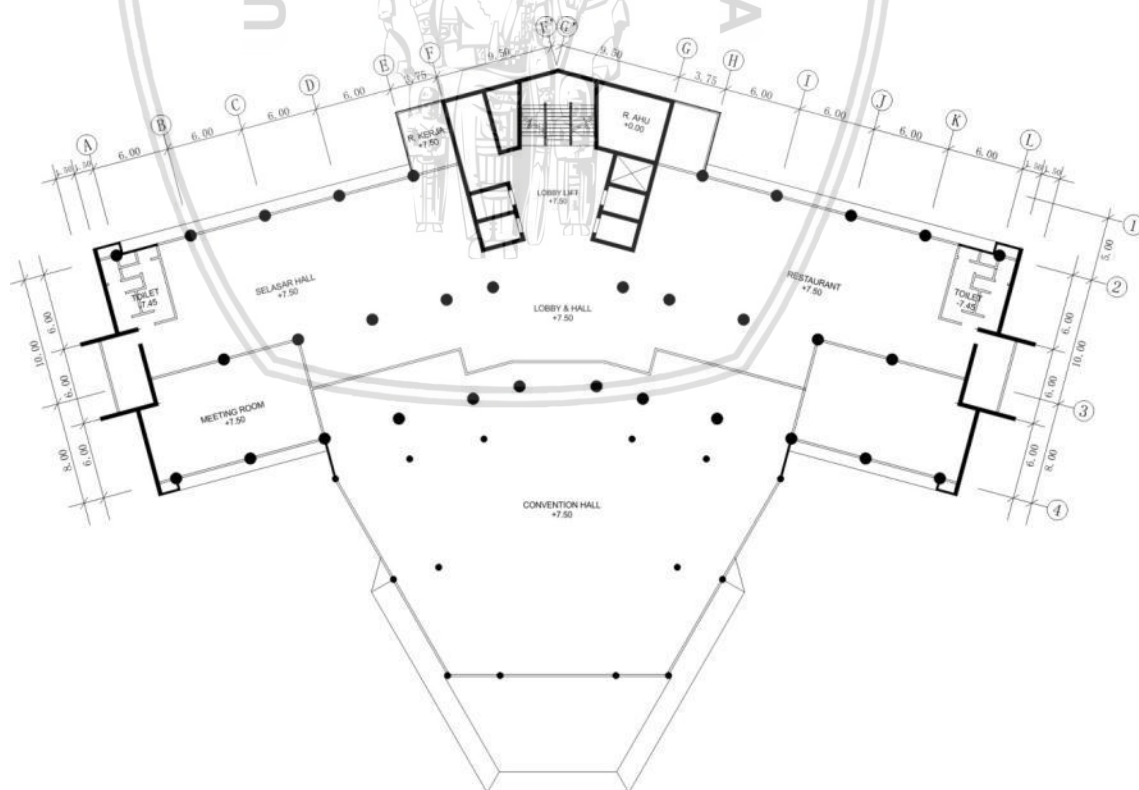
ruang utama tersebut berperan menghubungkan antara ruang akses inti (*core*) yang berada di tengah bangunan dan ruang akses vertikal darurat di masing-masing sisi terpendek bangunan. Ruang akses inti berperan sebagai titik pusat yang mengarahkan pengguna untuk menuju 2 koridor yang berperan sebagai axis bujur 1 dan axis bujur 2. Sementara ruang utama terletak membujur searah koridor pada sisi barat dan timur dengan lebar ruang 8 meter.



Gambar 4. 11 Denah bangunan lantai dasar

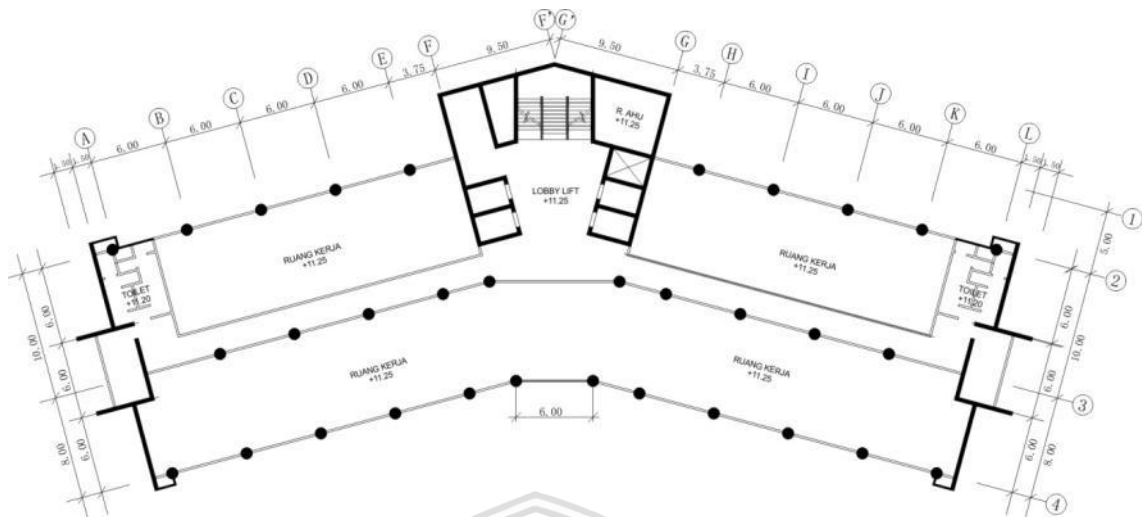


Gambar 4.12 Denah bangunan lantai 1

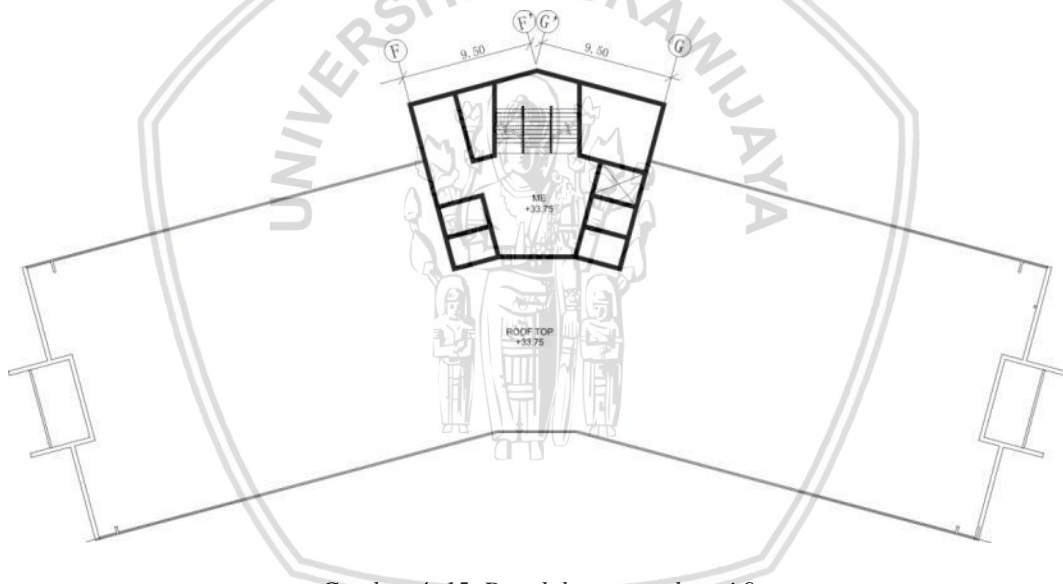


Gambar 4.13 Denah bangunan lantai 2



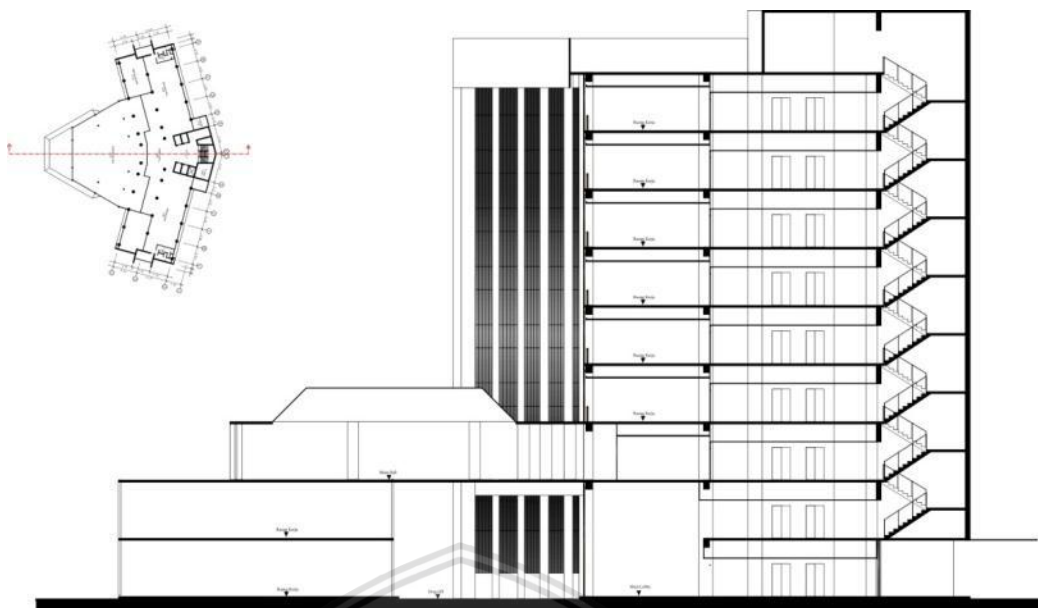


Gambar 4. 14 Denah bangunan lantai tipikal 3-8

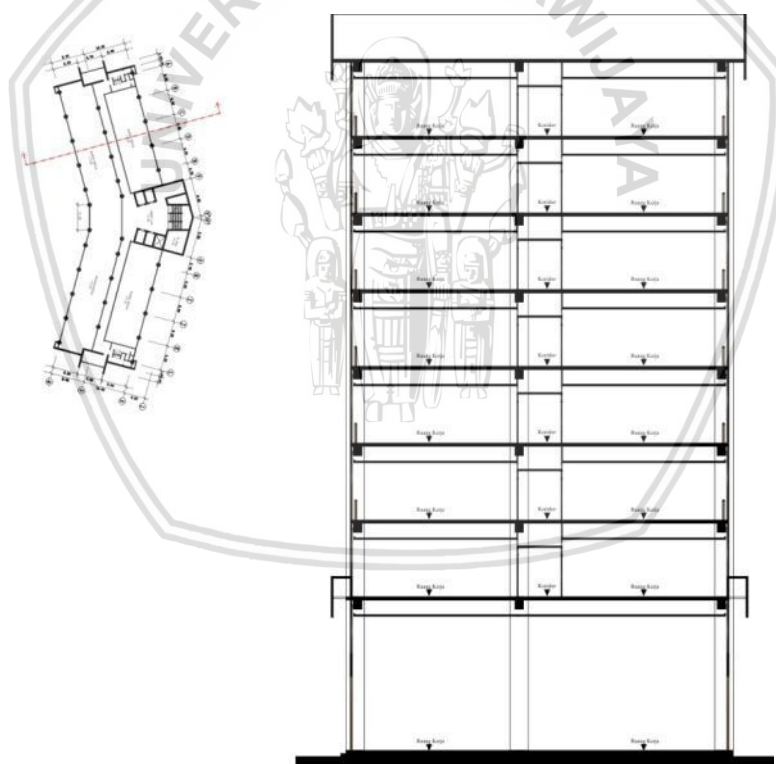


Gambar 4. 15 Denah bangunan lantai 9

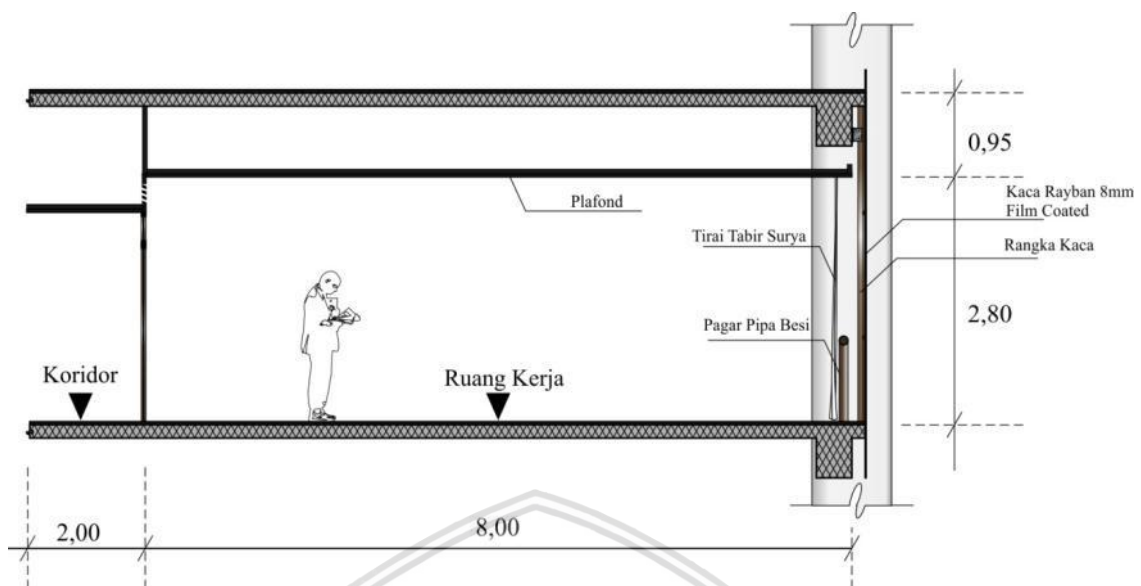
Setiap lantai tipikal bangunan memiliki luas  $1.164 \text{ m}^2$  dengan ketinggian ruang dari lantai ke lantai mencapai 3,75 meter. Ketinggian tersebut digunakan untuk plat lantai setebal 15 cm serta plafon setinggi 80 cm, sehingga ketinggian ruang aktivitas pengguna adalah 2,8 meter. Pada koridor terdapat penurunan plafon yang difungsikan sebagai difuser pendingin setinggi 30cm, sehingga ketinggian koridor tersisa 2,50 meter.



Gambar 4. 16 Potongan bangunan pada podium dan tower

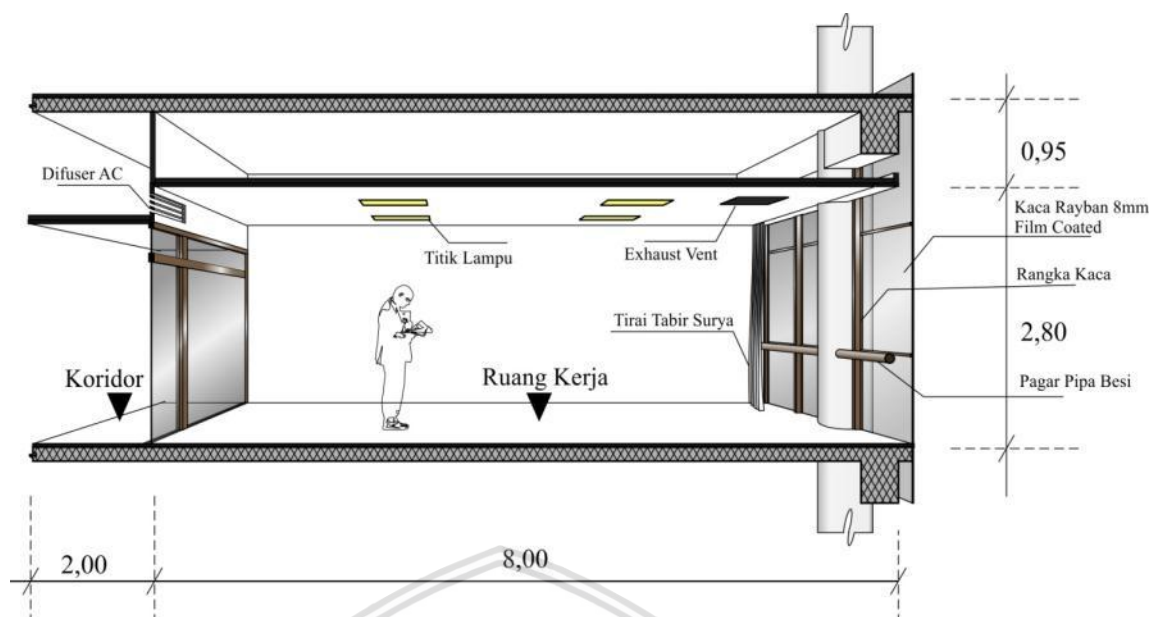


Gambar 4. 17 Potongan bangunan pada tower



Gambar 4. 18 Potongan ruang kerja utama

Selubung interior bangunan didominasi oleh penggunaan material dengan penyelesaian warna putih. Hampir pada semua ruang utama memiliki satu sisi bukaan yang mengarah ke luar bangunan dan satu sisi masif yang membatasi dengan ruang koridor. Pada sisi bukaan hampir sepenuhnya merupakan material transparan yang menerus dari lantai hingga plafon dan lantai di atasnya. Sementara pada sisi masif merupakan sekat pembagi ruang yang diselesaikan dengan warna putih. Penyelesaian lantai menggunakan tegel dengan warna putih, begitu juga pada plafond yang berbahan kayu triplek dengan penyelesaian akhir berwarna cerah. Namun pada beberapa ruang terdapat penggunaan material dengan penyelesaian warna khusus menyesuaikan dengan kebutuhan visual yang diinginkan. Pada lobby lantai dasar didominasi dengan penggunaan batu marmer hangat untuk penyelesaian lantai dan dinding, sementara pada lobby hall digunakan warna merah maroon. Pada plafond lobby digunakan material aluminium dengan penyelesaian warna gelap.



Gambar 4. 19 Potongan ortogonal ruang kerja utama

#### 4.1.3 Aspek Utilitas Bangunan

##### 1. Sistem Pencahayaan

Jenis pencahayaan yang digunakan pada objek studi adalah pencahayaan alami dan buatan. Namun pada penggunaannya, pencahayaan buatan digunakan menerus selama aktivitas perkantoran berlangsung. Pencahayaan alami digunakan secara tidak teratur. Ketika sinar matahari langsung mengenai bukaan, silau cahaya dan panas akan memberikan ketidaknyamanan sehingga pengguna cenderung menghalau sinar tersebut dengan tirai tabir surya. Hal tersebut menjadikan pencahayaan buatan sebagai pencahayaan yang diandalkan. Jenis pencahayaan buatan yang dominan digunakan adalah *General Light*, namun pada ruang hall digunakan pencahayaan jenis *Accent Light* dan *Spot Light*.

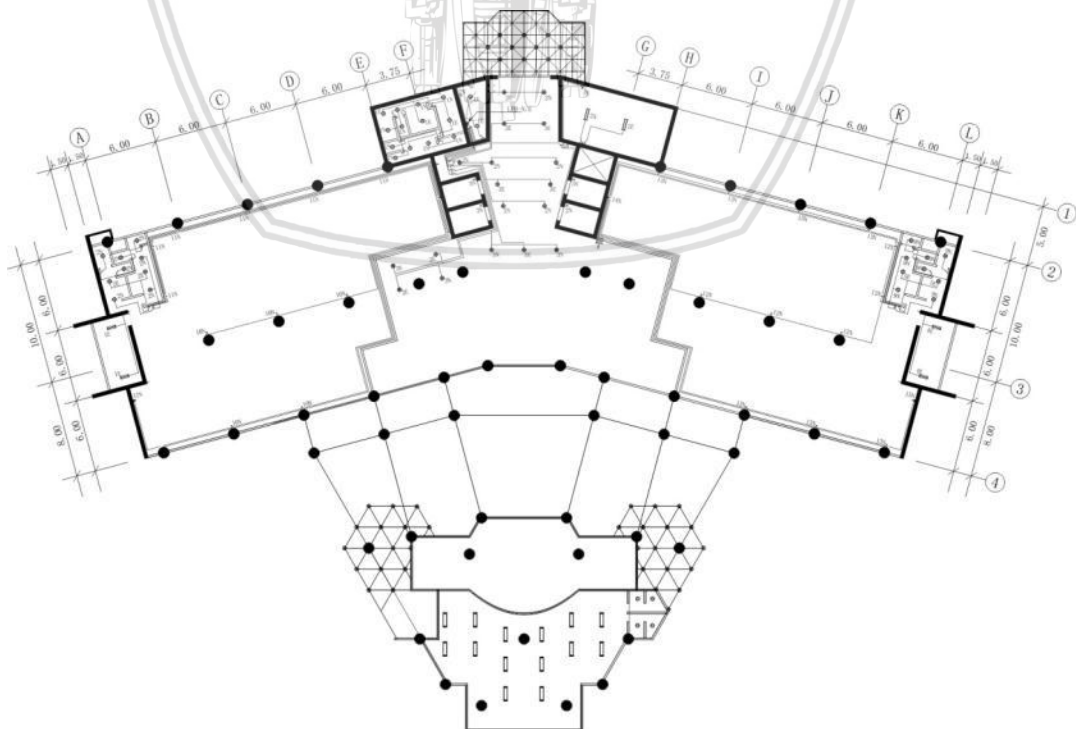


Gambar 4. 20 1) Tirai tabir surya dan 2) Rumah lampu penerangan general

Pencahayaan general didominasi penggunaan lampu TL dengan jumlah 2 buah tabung dalam satu rumah lampu. Format tersebut digunakan sebagai standar pencahayaan pada semua titik lampu ruang kerja. Jenis lampu yang digunakan adalah lampu TL Phillips dengan daya konsumsi per tabung mencapai 36W. Namun pada lantai 8, telah digunakan lampu dengan jenis LED dengan daya per tabung lampu sebesar 18W. Penerangan pada ruang-ruang utama tersebut dinyalakan sesuai jam operasional kerja yakni 13,5 jam.

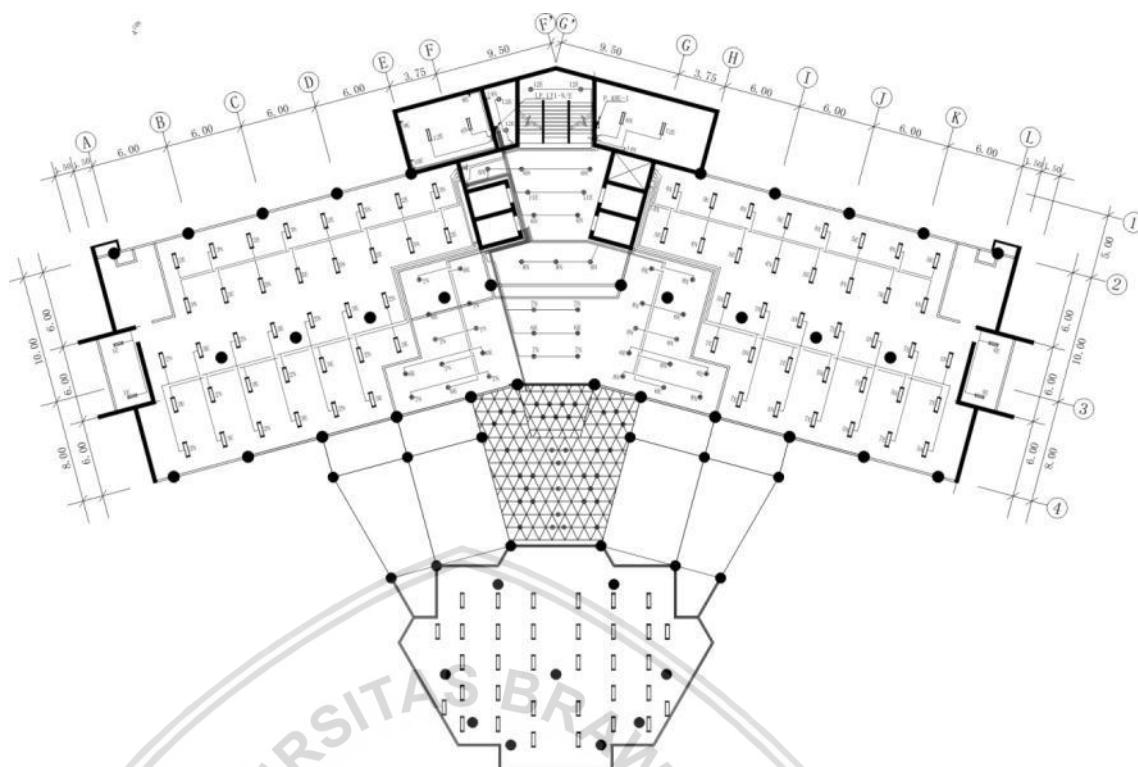
Pada ruang lobby digunakan lampu general tipe tornado dengan daya 12W dan 24W. Pada tangga utama digunakan lampu tipe ring dengan daya 22W. Pilihan lampu tersebut sudah menjadi standar untuk penerangan tipikal. Penerangan pada ruang-ruang tersebut dinyalakan selama 24 jam. Pada tangga darurat digunakan lampu dengan sistem operasional yang otomatis, dimana lampu tersebut akan menyala pada pukul 5 sore hingga pukul 6 pagi.

Adapun jenis penerangan lain diaplikasikan pada beberapa tempat sesuai kebutuhan. Terutama pada ruang *main hall* yang menggunakan jenis-jenis penerangan untuk penggunaan estetik. Pada bagian luar tower terdapat penerangan *building accent* yang menggunakan lampu berbahan merkuri dengan daya 80W yang beroperasi selama 24 jam.

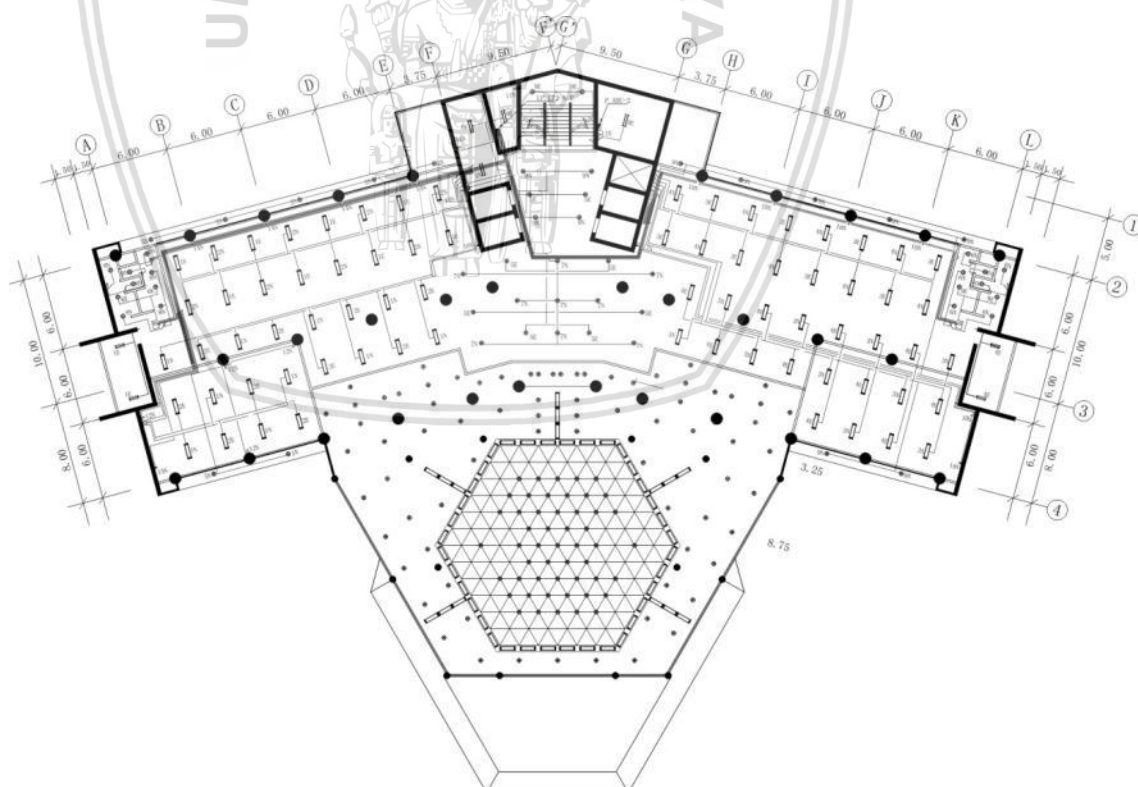


Gambar 4. 21 Rencana titik lampu lantai dasar

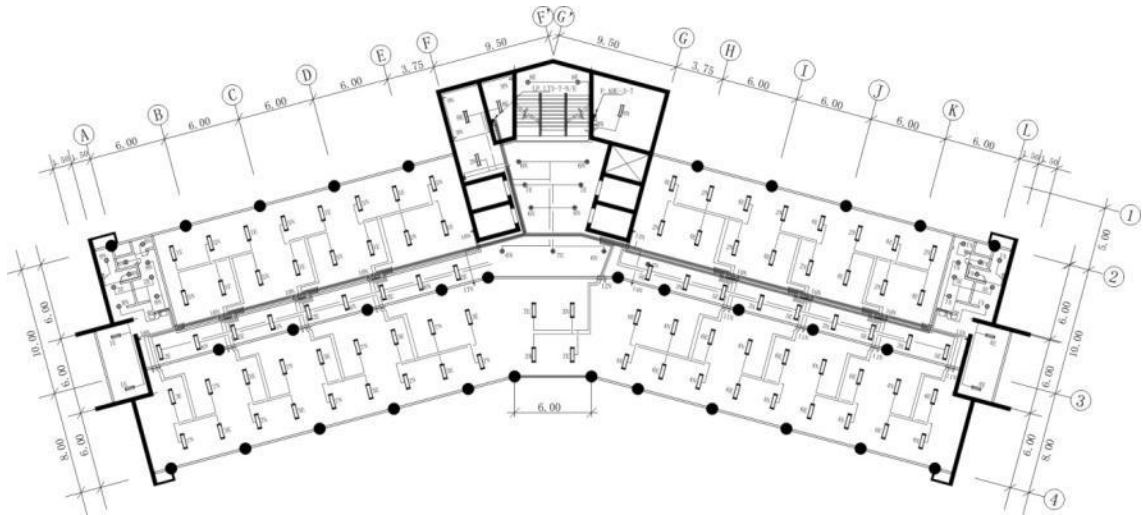




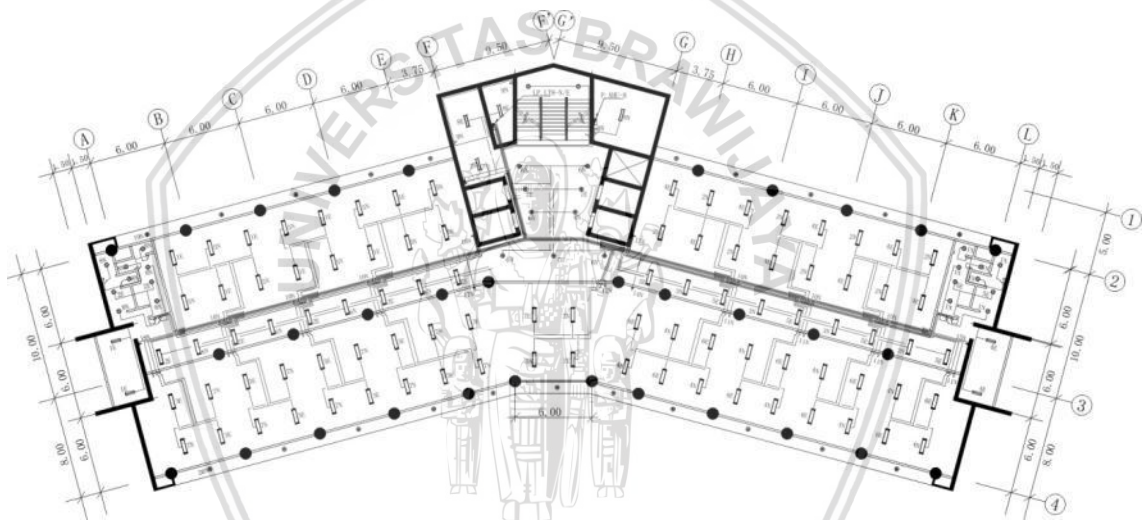
Gambar 4. 22 Rencana titik lampu lantai 1



Gambar 4. 23 Rencana titik lampu lantai 2



Gambar 4. 24 Rencana titik lampu lantai tipikal 3-7



Gambar 4. 25 Rencana titik lampu lantai 8

## 2. Sistem Penghawaan

Penghawaan pada bangunan objek studi sepenuhnya menggunakan penghawaan buatan dengan jenis penghawaan sentral dan unit. Penghawaan sentral menggunakan chiller dengan merek York model YCAj98XU7-50PA. Terdapat 2 unit chiller yang memiliki 2 sistem kompresor pada tiap unitnya. Mesin tersebut menggunakan pendingin air yang disuplai oleh 3 pompa air, namun saat ini hanya 2 pompa yang bekerja. Udara dingin dari mesin pendingin disalurkan melalui bawah tanah menuju AHU yang terdapat di setiap lantai. Sistem ini dioperasikan selama 12 jam sehari dengan usia mesin sudah mencapai 25 tahun.



*Gambar 4. 26 Unit chiller yang diletakkan di atas ruang ME*

Secara tipikal, persebaran udara dingin dialirkan melalui AHU dan di-*supply* ke masing-masing ruang melalui supply duct. Peletakkan suply duct diletakkan sejalur dengan koridor di setiap lantai. Dipasang pada level penurunan plafon dan mengarah ke ruang-ruang yang ada di sampingnya. Tidak nampak adanya persebaran udara dingin yang berada di plafon tepat di atas ruang kerja. Sementara return duct diletakkan di bagian pinggir ruang mendekati bukaan.

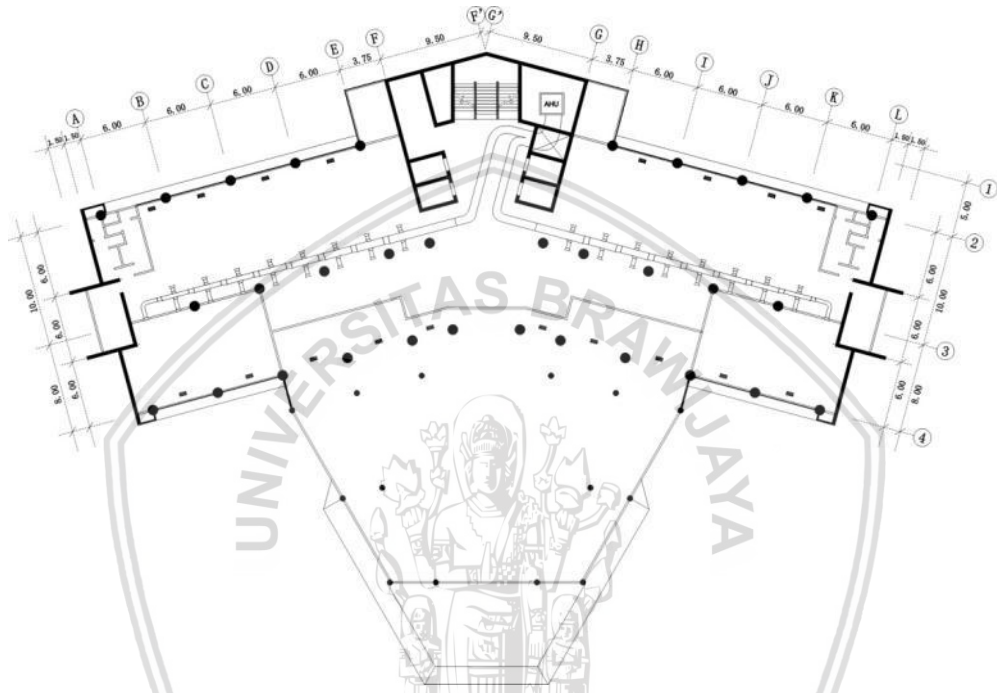


*Gambar 4. 27 1) Supply Duct yang ditanam pada plafon koridor dan 2) Return Duct pada area samping mendekati bukaan*

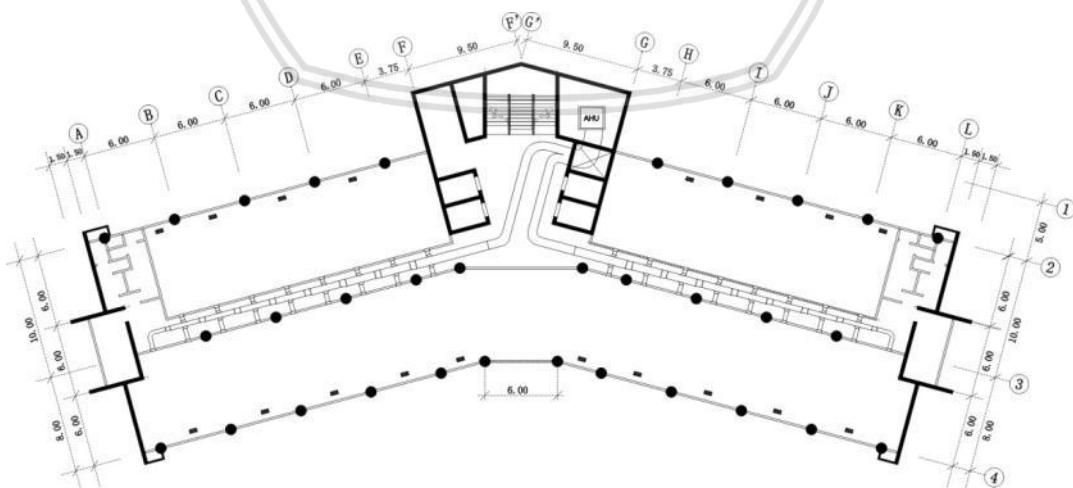
Sistem pendinginan sentral juga diterapkan untuk mendinginkan ruang *main hall* di lantai 2 (Anex). Menggunakan sistem mandiri dan hanya dinyalakan apabila ada acara yang sedang berlangsung. Adapun sistem unit digunakan sebagai pendingin tambahan pada beberapa lantai. Jenis pendingin yang digunakan antara lain AC split, AC standing, dan AC ceiling.



Penambahan pendingin dilakukan karena posisi *difuser* yang hanya berada pada sisi koridor. Hal ini mengakibatkan ketidakrataan penyebaran udara dingin. Penambahan AC Standing digunakan untuk mendinginkan ruang dalam skala luas. Sedangkan penambahan AC Split digunakan untuk ruang yang lebih kecil. Mengingat kebutuhan penyewa ruang yang mengadakan partisi yang digunakan untuk membentuk unit ruang kerja yang lebih kecil lagi.



Gambar 4. 28 Rencana ducting AC podium



Gambar 4. 29 Rencanan ducting AC lantai tipikal

### 3. Sistem Transportasi

Transportasi utama yang digunakan dalam bangunan adalah lift dan tangga utama yang berada di *core* bangunan. Adapun akses transportasi lain adalah tangga darurat yang terletak pada masing-masing sisi pendek bangunan. Gedung kantor PT Petrokimia memiliki 4 akses lift yang digunakan untuk penumpang. Masing-masing tabung lift digerakan oleh mesin motor Yaskawa dan dioperasikan selama 24 jam. Lift tersebut memiliki sistem *idle* pada menit ke-sepuluh setelah lift tidak digunakan. Intensitas penggunaan tertinggi terjadi pada pukul 7 pagi hingga 5 sore.



Gambar 4. 30 Mesin lift pada gedung kantor

Mesin lift selalu dalam keadaan menyala sekalipun sedang tidak digunakan. Ruang mesin lift selalu dikondisikan pada suhu tertentu agar mesin tidak mengalami kelebihan panas. Dalam hal tersebut, mesin selalu dialiri dengan udara segar dari *blower* yang tersambung dengan sistem AHU. Selain dengan pendingin sentral, digunakan pula pendingin jenis split untuk menjaga suhu ruang apabila pendingin sentral telah dimatikan.

### 4. Sistem Elektrikal Peralatan Kantor

Dalam menunjang kegiatan bekerja di kantor, tentu banyak digunakan peralatan yang sepenuhnya menggunakan peralatan elektronik. Terlebih kemajuan teknologi mendorong pekerjaan untuk diselesaikan dengan cepat sehingga semua hal dilakukan secara praktis. Penggunaan peralatan listrik sudah menjadi dasar dalam perkantoran termasuk pada gedung objek studi. Terdapat banyak jenis peralatan elektronik yang digunakan seperti penggunaan



komputer, telepon, printer, mesin fotocopy, proyektor, fax, dispenser, CCTV, Speaker, peralatan elektronik dapur, hingga peralatan elektronik tambahan yang digunakan untuk menunjang acara pada *main hall*.

Pada objek studi, peralatan elektronik yang mendominasi adalah penggunaan komputer dengan penggunaan personal. Jenis komputer yang digunakan cukup beragam baik komputer meja maupun laptop. Penggunaan layar pun beragam, dari layar CVT hingga LCD. spesifikasi pada penggunaan elektronik lainnya pun sangat beragam. Selain beban peralatan elektronik penunjang perkantoran, pada objek studi juga terdapat BTS operator seluler yang menyewa *rooftop* sebagai pengganti tower. Peralatan BTS tersebut juga menggunakan beban listrik pada gedung kantor.



Gambar 4. 31 Rooftop yang disewakan untuk BTS operator seluler

## 4.2 Audit Energi Gedung Perkantoran PT Petrokimia Gresik

### 4.2.1 Audit Energi Singkat

Sumber utama energi listrik yang digunakan oleh gedung objek studi adalah pembangkit listrik mandiri oleh perusahaan PT Petrokimia. PT Petrokimia memiliki pembangkit listrik yang dibangkitkan oleh tenaga gas alam. Listrik tersebut dialirkan menuju trafo induk bangunan yang berada di ruang ME. Besar daya listrik yang dialirkan adalah 1300 kVA dengan kapasitas trafo 1600 kVA. Listrik yang bersumber dari PLN hanya digunakan sebagai cadangan. Dalam perencanaan, genset diadakan guna memberikan daya cadangan pula, namun saat ini gedung tidak memiliki genset sendiri

melainkan tersambung dengan sistem genset yang dimiliki oleh Gelanggang Olah Raga Petrokimia.

Data perhitungan konsumsi energi yang digunakan pada audit ini adalah data riwayat penggunaan energi listrik gedung pada kurun waktu dua tahun terakhir. Berikut perincian riwayat penggunaan energi listrik gedung selama tahun 2016 dan 2017

*Tabel 4. 2 Penggunaan listrik gedung tahun 2016*

No	Bulan	LWBP (kWh)	Nilai(Rp)
1	JANUARI	<b>185.500</b>	333.906.000
2	FEBRUARI	<b>206.500</b>	371.706.000
3	MARET	<b>184.000</b>	331.206.000
4	APRIL	<b>215.000</b>	387.006.000
5	MEI	<b>203.000</b>	365.406.000
6	JUNI	<b>192.500</b>	346.506.000
7	JULI	<b>252.500</b>	454.506.000
8	AGUSTUS	<b>131.500</b>	236.706.000
9	SEPTEMBER	<b>222.000</b>	399.606.000
10	OKTOBER	<b>190.500</b>	342.906.000
11	NOVEMBER	<b>207.500</b>	373.506.000
12	DESEMBER	<b>175.500</b>	315.906.000
<b>Total</b>		<b>2.366.000</b>	<b>4.258.872.000</b>

*Sumber: Arsip Kantor Pusat PT. Petrokimia Gresik*

Total penggunaan listrik tahun 2016 = 2.366.000 kWh/year

Luas bangunan = 11.004 m<sup>2</sup>

Indeks Konsumsi Energi 2016 = 2.366.000/11.004 = **215,013 kWh/m<sup>2</sup>/year**

*Tabel 4. 3 Penggunaan listrik gedung tahun 2017*

No	Bulan	LWBP (kWh)	Nilai (Rp)
1	JANUARI	<b>202.500</b>	364.506.000
2	FEBRUARI	<b>176.000</b>	316.806.000
3	MARET	<b>179.500</b>	323.106.000
4	APRIL	<b>192.000</b>	345.606.000

5	MEI	<b>192.000</b>	345.606.000
6	JUNI	<b>165.500</b>	297.906.000
7	JULI	<b>188.000</b>	338.406.000
8	AGUSTUS	<b>193.000</b>	347.406.000
9	SEPTEMBER	<b>201.450</b>	362.616.000
10	OKTOBER	<b>194.500</b>	350.106.000
11	NOVEMBER	<b>187.000</b>	336.606.000
12	DESEMBER	<b>196.000</b>	352.806.000
<b>Total</b>		<b>2.267.450</b>	<b>4.081.482.000</b>

*Sumber: Arsip Kantor Pusat PT. Petrokimia Gresik*

Total penggunaan listrik tahun 2017 = 2.267.450 kWh/year

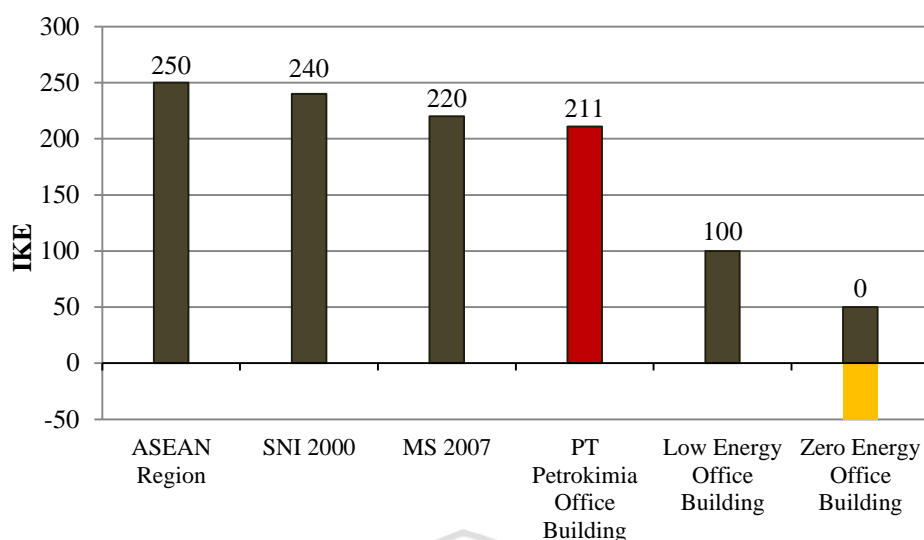
Luas bangunan = 11.004 m<sup>2</sup>

Indeks Konsumsi Energi 2017 = 2.267.450/11.004 = **206,057** kWh/m<sup>2</sup>/year

Rata-rata indeks penggunaan energi 2 tahun terakhir;

$$\begin{aligned}
 \text{IKE} &= \frac{215,013 + 206,057}{2} \text{ kWh/m}^2/\text{year} \\
 &= \frac{421,07}{2} \text{ kWh/m}^2/\text{year} \\
 &= \mathbf{210,535} \text{ kWh/m}^2/\text{year}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui perbandingan indeks penggunaan energi oleh gedung kantor pusat PT. Petrokimia Gresik dengan indeks penggunaan energi bangunan kantor pada umumnya seperti pada grafik berikut



Gambar 4. 32 IKE historis gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik

Mengacu pada studi *Low Energy Building* maupun studi *Zero Energy Office*, tingkatan energi yang dihabiskan pada gedung perkantoran pada umumnya adalah 200-300 kWh/m<sup>2</sup>/year. Berdasarkan standar nasional Indonesia, angka IKE standar pada bangunan kantor adalah 240 kWh/m<sup>2</sup>/tahun sedang berdasarkan standar Malaysia yang digunakan sebagai acuan studi LEO dan ZEO adalah 220 kWh/m<sup>2</sup>/tahun. Berdasarkan standar yang digunakan, IKE historis gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik berada pada angka standar yang menghabiskan energi listrik sebanyak 210,535 kWh/m<sup>2</sup>/tahun dengan biaya pengeluaran listrik rata-rata mencapai 4.170.177.000 rupiah per tahun.

Kendati masih berada pada angka standar, pihak PT Petrokimia selalu berupaya untuk melakukan penghematan energi. Selain menginginkan konsumsi yang rendah energi, langkah tersebut juga diupayakan guna menekan angka pengeluaran biaya untuk pembelian listrik (pengganti biaya operasional) yang mencapai angka 4 miliar tiap tahun. Upaya-upaya tersebut masih terus digagas dan direncanakan serta dilaksanakan sehingga tercapai penggunaan energi serta biaya yang lebih rendah.



*Gambar 4. 33 Seruan untuk berhemat energi pada gedung kantor PT Petrokimia*

Langkah yang telah ditempuh dalam penghematan energi salah satunya adalah dengan penggantian mesin lift. Penggantian mesin lift dari mesin konvensional menjadi mesin lift yang lebih hemat, mampu menekan angka konsumsi energi 3 kali lebih rendah dari konsumsi sebelumnya. Tak hanya pada aspek transportasi, pada aspek penerangan telah dilakukan penggantian jenis lampu TL menjadi lampu LED yang lebih hemat energi. Namun, langkah tersebut hanya dilakukan pada lantai 8 sebagai langkah awal karena keterbatasan biaya investasi maupun faktor lain sehingga proses dilakukan secara bertahap. Adapun pihak Petrokimia kini masih menginginkan upaya penghematan pada aspek-aspek lainnya.

Dalam rangka menjadikan kantor dengan konsumsi rendah energi, maka mencari peluang penghematan energi adalah langkah yang sepatutnya ditempuh. Dengan demikian, dapat dilakukan langkah rekomendasi penghematan secara tepat. Dalam hal ini, perlu adanya audit rinci untuk mengetahui kondisi terkini serta profil penggunaan masing-masing aspek pengguna energi listrik.

#### **4.2.2 Audit Energi Rinci**

Audit ini dilakukan dengan pengukuran dan perhitungan rinci konsumsi energi oleh masing-masing elemen utama pengguna energi listrik.

##### **1. Sistem Pencahayaan**

Berdasarkan hasil observasi, penggunaan pencahayaan pada objek studi sepenuhnya menggunakan pencahayaan buatan. Durasi penggunaan tersebut disesuaikan dengan jam operasional kantor selama 13,5 jam dalam sehari. Bukaan yang maksimal pada selubung bangunan dapat menerima sinar alami secara penuh, namun sinar langsung yang masuk secara berlebih mengakibatkan



silau dan panas. Hasilnya pengguna lebih memilih untuk menutup bukaan dengan tirai tabir surya dan menyalakan penerangan buatan.

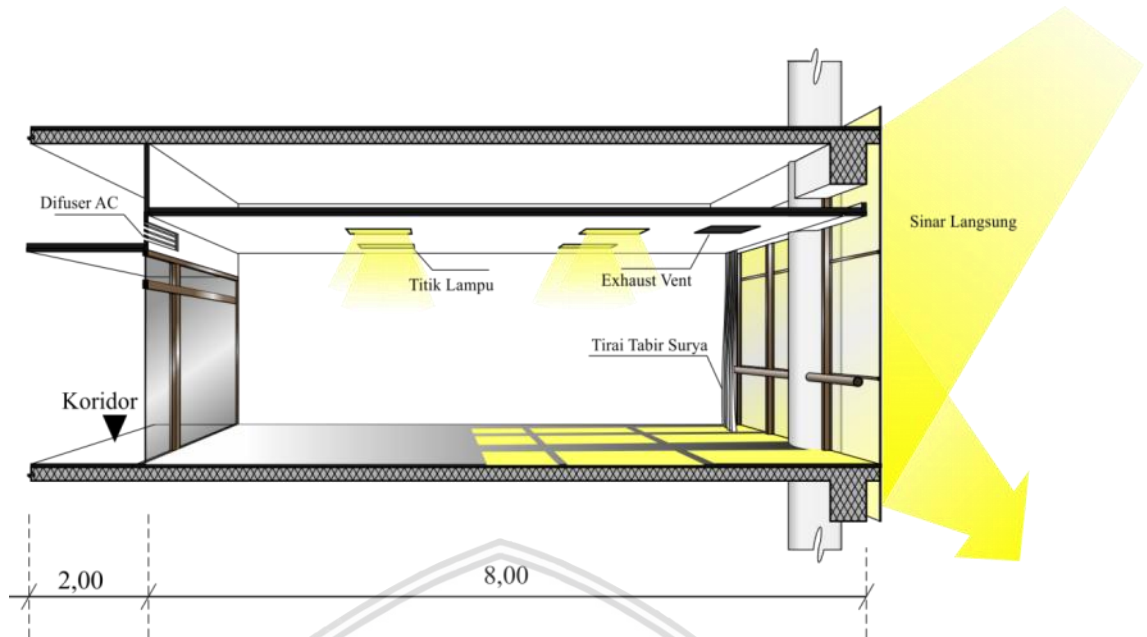
Pengukuran untuk mengetahui kuat terang pada kondisi eksisting dilakukan pada lantai 2 yang berfungsi sebagai selasar hall dan lantai 4 yang berfungsi sebagai ruang kerja. Pada lantai 2 biasa digunakan pencahayaan alami jika hall sedang tidak digunakan. Sementara pada lantai 4 biasa digunakan penerangan buatan dan menutup tirai untuk menghalau sinar langsung. Titik pengukuran diambil pada titik A yang berada dekat dengan bukaan sisi timur, titik B yang berada pada koridor, dan titik C yang berada dekat dengan bukaan sisi barat. Pada pengukuran tersebut didapat rata-rata terang cahaya seperti pada tabel berikut

*Tabel 4. 4 Pengukuran kuat terang cahaya k kondisi eksisting*

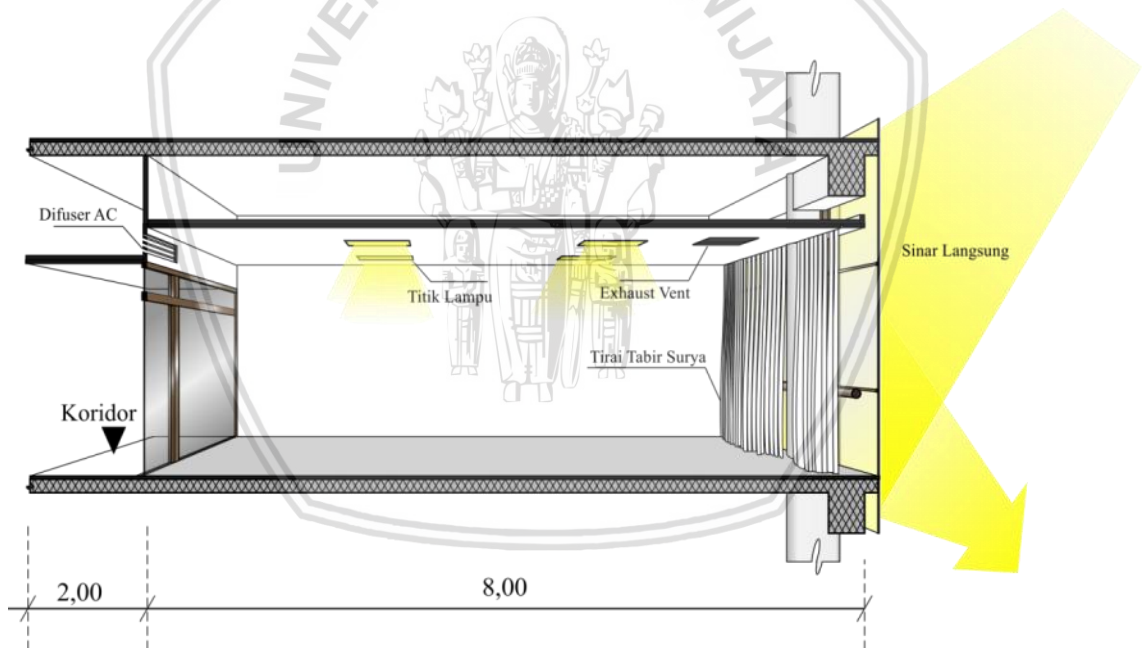
<b>Pukul</b>	<b>Lantai</b>	<b>Titik A</b>	<b>Titik B</b>	<b>Titik C</b>	<b>R. Luar</b>
10.00	2	434 lux	60 lux	98,67 lux	92,2 klux
	4	180,6 lux	156 lux	192,3 lux	
15.00	2	93 lux	35.5 lux	207.6 lux	78,1 klux
	4	205 lux	202 lux	201.6 lux	

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa pada pagi hari sisi timur bangunan mendapatkan sinar alami lebih banyak, sedang pada sisi sebaliknya sinar alami yang masuk sangat minim. Pada penerangan alami di dapat angka yang mencapai angka di atas 400 lux dimana angka tersebut berada di atas standar penerangan untuk ruang kerja kantor. Sedangkan pada sore hari, sisi barat mendapatkan sinar yang lebih dibandingkan sisi timur.

Pada pengukuran dengan pencahayaan buatan didapat angka rata-rata 180-210 lux. Angka tersebut berada dibawah standar kenyamanan beraktivitas di ruang kerja kantor dimana angka seharusnya yang dicapai untuk penerangan adalah 350 lux. Adapun sketsa penerangan alami dan buatan yang terjadi pada kondisi eksisting, digambarkan pada sketsa berikut



Gambar 4. 34 Ilustrasi penerangan alami yang terjadi pada ruang kerja



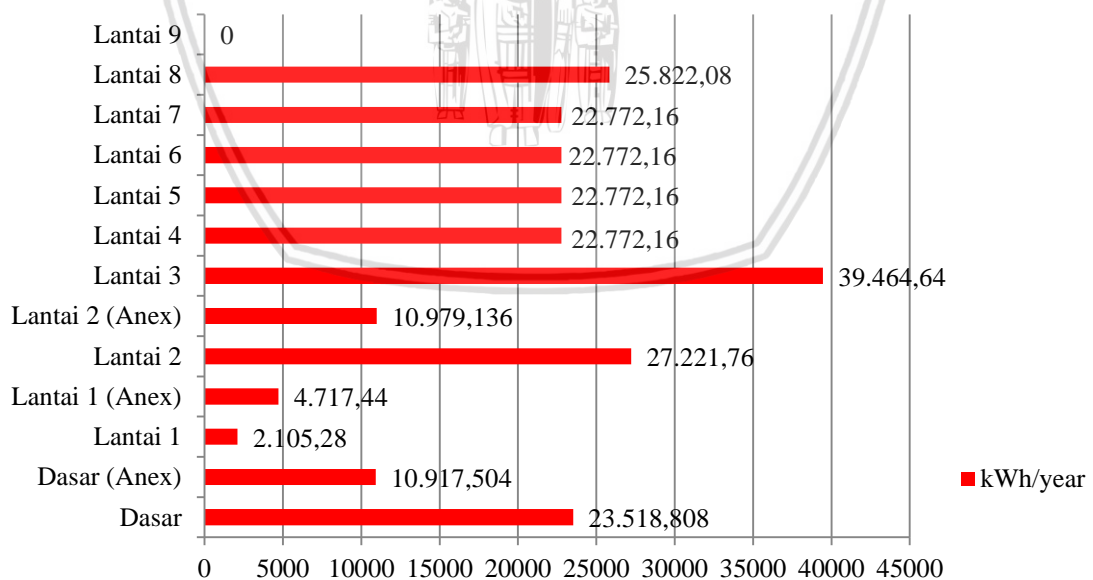
Gambar 4. 35 Ilustrasi penggunaan tirai tabir surya untuk menghalau sinar langsung

Perhitungan total beban pencahayaan bangunan didapatkan dari perhitungan dengan menjumlahkan titik lampu dengan spesifikasi pencahayaan yang digunakan berdasar durasi penggunaannya. Secara rinci perhitungan penggunaan beban pencahayaan.

Tabel 4. 5 Konsumsi energi listrik untuk penggunaan pencahayaan bangunan

Lantai	Ruang	Jumlah TL	Jumlah Lampu	Watt	Week Day	Week end	Penggunaan per bulan (kWh)	Penggunaan per tahun (kWh)
Dasar	Teras	6	1	24	12	12	48,38	580,60
	Lobby	18	1	12	24	0	103,68	1.244,16
	Hall	33	1	24	24	0	380,16	4.561,92
	Ruang Kerja	72	2	36	13,5	0	1.399,68	16.796,16
	Toilet	13	1	8	13,5	0	28,08	336,96
Dasar (Anex)	Ruang Kerja	34	2	36	13,5	0	660,96	7.931,52
	Kanopi	36	1	24	12	12	248,83	2.985,98
Lantai 1	Lobby	7	1	12	24	0	40,32	483,84
	Ruang Kerja	2	2	36	13,5	0	38,88	466,56
	Tangga	2	2	22	24	0	42,24	506,88
	Tangga Darurat	4	1	18	10,5	0	15,12	181,44
	Toilet	18	1	8	13,5	0	38,88	466,56
Lantai 1 (Anex)	Ruang Kerja	14	2	36	13,5	0	272,16	3.265,92
	Kanopi	30	1	12	12	12	120,96	1.451,52
Lantai 2	Lobby	21	1	12	24	0	120,96	1.451,52
	Selasar	36	2	36	13,5	0	699,84	8.398,08
	Auditorium	2	1	12	13,5	0	6,48	77,76
	Ruang Kerja	36	2	36	13,5	0	699,84	8.398,08
	Restoran	2	2	22	24	0	42,24	506,88
	Tangga	4	1	18	10,5	0	15,12	181,44
	Tangga Darurat	18	1	8	13,5	0	38,88	466,56
	Toilet	12	1	80	24	24	645,12	7.741,44
Lantai 2 (Anex)	Auditorium	51	2	36	6	6	528,77	6.345,22
		75	1	8	6	6	86,40	1.036,80
		50	1	24	6	6	172,80	2.073,60
		2	8	15	6	6	34,56	414,72
		1	25	15	6	6	54,00	648,00
		1	1	400	4	4	38,40	460,80
Lantai 3	Lobby	9	1	12	24	0	51,84	622,08
	Ruang Kerja	90	2	36	24	0	3.110,40	37.324,80
	Tangga	2	2	22	24	0	42,24	506,88
	Tangga Darurat	4	1	18	10,5	0	15,12	181,44
	Toilet	18	1	8	24	0	69,12	829,44
Lantai 4	Lobby	9	1	12	24	0	51,84	622,08
	Ruang Kerja	90	2	36	13,5	0	1.749,60	20.995,20
	Tangga	2	2	22	24	0	42,24	506,88
	Tangga Darurat	4	1	18	10,5	0	15,12	181,44
	Toilet	18	1	8	13,5	0	38,88	466,56
Lantai 5	Lobby	9	1	12	24	0	51,84	622,08
	Ruang Kerja	90	2	36	13,5	0	1.749,60	20.995,20

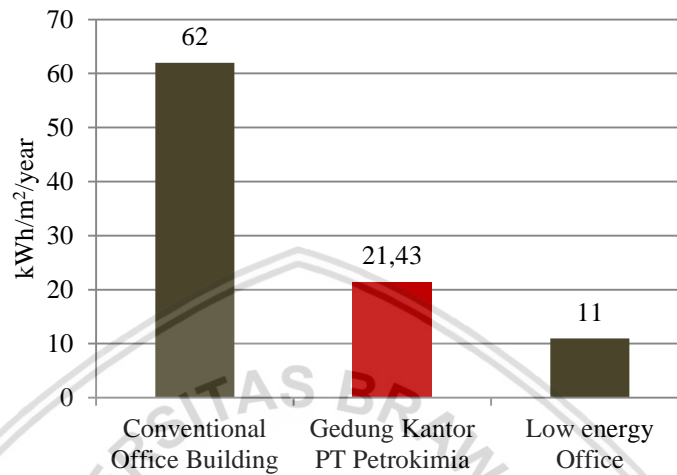
	Tangga	2	2	22	24	0	42,24	506,88
	Tangga Darurat	4	1	18	10,5	0	15,12	181,44
	Toilet	18	1	8	13,5	0	38,88	466,56
Lantai 6	Lobby	9	1	12	24	0	51,84	622,08
	Ruang Kerja	90	2	36	13,5	0	1.749,60	20.995,20
	Tangga	2	2	22	24	0	42,24	506,88
	Tangga Darurat	4	1	18	10,5	0	15,12	181,44
	Toilet	18	1	8	13,5	0	38,88	466,56
Lantai 7	Lobby	9	1	12	24	0	51,84	622,08
	Ruang Kerja	90	2	36	13,5	0	1.749,6	20.995,20
	Tangga	2	2	22	24	0	42,24	506,88
	Tangga Darurat	4	1	18	10,5	0	15,12	181,44
	Toilet	18	1	8	13,5	0	38,88	466,56
Lantai 8	Lobby	9	1	12	24	0	51,84	622,08
	Ruang Kerja	90	2	18	13,5	0	874,80	10.497,60
	Tangga	2	2	22	24	0	42,24	506,88
	Tangga Darurat	4	1	18	10,5	0	15,12	181,44
	Toilet	18	1	8	13,5	0	38,88	466,56
	Kanopi	21	1	80	24	24	1.128,96	13.547,52
Lantai 9	RuangUtility			12	0		0	0
	Tangga			22	0		0	0
<b>Total</b>							19.653,02	<b>235.836,30</b>



Gambar 4. 36 Tingkat konsumsi penggunaan listrik untuk pencahayaan di setiap lantai

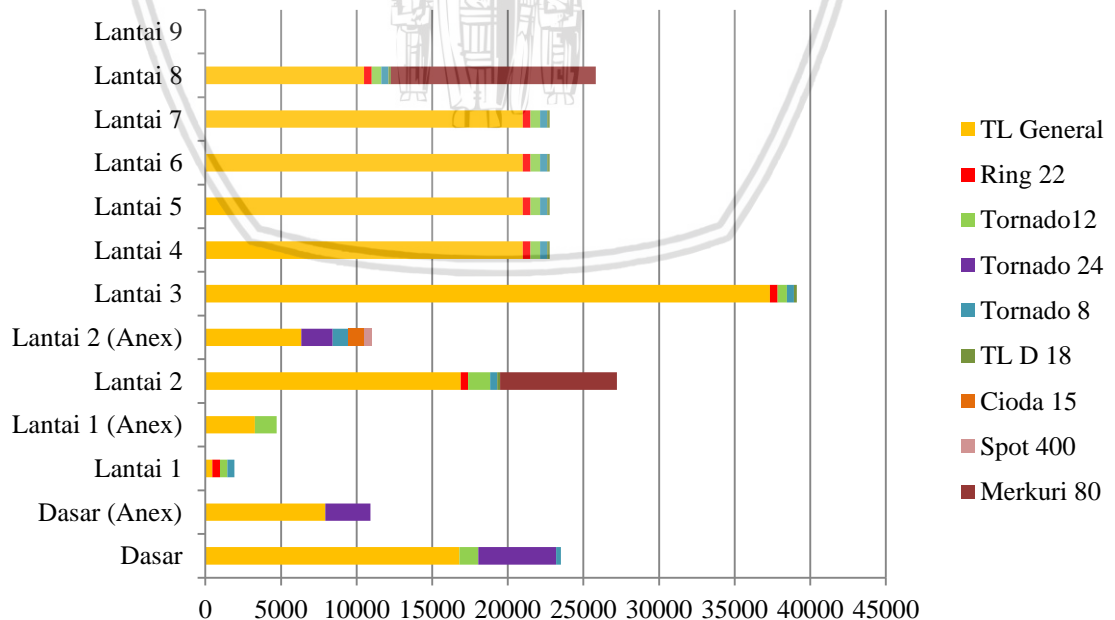
Dari tabel dan Gambar tersebut dapat diketahui bahwa total konsumsi listrik pada aspek pencahayaan mencapai 235.836,3 kWh/tahun. Rata-rata

intensitas konsumsi per meter persegi penggunaan listrik mencapai 21,43 kWh/year/m<sup>2</sup>. Mengacu pada studi *Low Energy Building*, angka tersebut masih berada di bawah standar dimana pada umumnya intensitas konsumsi untuk penerangan berada di angka 62 kWh/year/m<sup>2</sup>.



Gambar 4. 37 Perbandingan *Ike* pencahayaan gedung kantor PT Petrokimia

Adapun secara rinci besar porsi konsumsi masing-masing jenis penerangan buatan yang digunakan dijelaskan pada Gambar berikut



Gambar 4. 38 Konsumsi masing-masing jenis penerangan buatan



Pada Gambar di atas, dapat terlihat bahwa penerangan lampu TL memiliki porsi yang dominan terhadap konsumsi listrik pada aspek ini. Lampu TL tersebut digunakan pada jam kerja 13,5 jam perhari. Terkecuali pada lantai 3 yang digunakan selama 24 jam sehingga konsumsi lampu TL pada lantai ini memiliki porsi lebih tinggi. Adapun jenis penerangan lain yang memiliki porsi cukup tinggi adalah penggunaan lampu dekoratif merkuri yang memiliki beban 80W dengan lama penyalan 24 jam.

Pada lantai Dasar, total penggunaan listrik mencapai 23.518,808 kWh/tahun atau 10% dari total konsumsi keseluruhan. Jenis penerangan yang dominan pada lantai ini adalah TL dan Tornado 24W. Lampu tornado ini banyak digunakan pada bagian teras serta hall lobby yang digunakan selama 24 jam. Pada lantai Dasar (Anex) total penggunaan listrik mencapai 10917.504 kWh/tahun atau setara 4,6% dari konsumsi keseluruhan.

Pada lantai 1 total konsumsi listrik mencapai 2.105,28 kWh/tahun atau setara 0,9% dari total konsumsi menyeluruh. Lantai ini merupakan lantai dengan tingkat konsumsi listrik terendah pada aspek ini mengingat luas ruang yang minim pula. Pada lantai 1 (Anex), konsumsi mencapai 4.717,44 kWh/tahun atau setara 2% dari total konsumsi bangunan. Lantai ini juga memiliki tingkat konsumsi yang rendah setelah lantai 1. Berdasarkan porsinya, penerangan tornado 12W memberikan angka yang cukup tinggi mengingat penggunaannya sebagai penerangan aksen pada kanopi *drop off*.

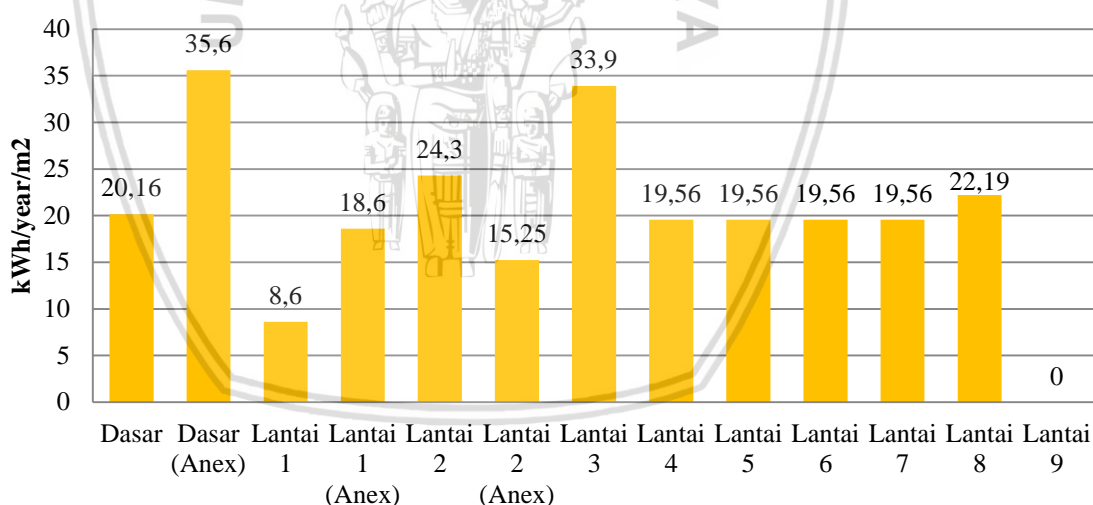
Pada lantai 2, penggunaan energi listrik mencapai 27.221,76 kWh/tahun atau setara 11,5% dari penggunaan menyeluruh. pada lantai ini terdapat lampu estetika bangunan yang berbahan merkuri dengan daya mencapai 80W. Lampu ini terletak pada sisi luar bangunan dan dinyalakan selama 24 jam, peletakkan tersebut cukup menyulitkan untuk melakukan perawatan. Pada lantai 2 (Anex) yang difungsikan sebagai main hall memiliki intensitas konsumsi sebesar 10.979,136 kWh/tahun atau setara 4,65% dari konsumsi total. Pada lantai ini digunakan beberapa jenis penerangan seperti penerangan aksen, serta penerangan spot.

Pada lantai 3 penggunaan listrik mencapai 39.464,64 kWh/tahun atau setara 16,7% penggunaan listrik total. Lantai ini merupakan lantai dengan intensitas penggunaan tertinggi. Hal ini dikarenakan penggunaan penerangan selama 24 jam. Dalam hal ini penerangan jenis lampu TL memberikan nilai

konsumsi yang sangat tinggi. lantai 3 hingga lantai 7 memiliki nilai konsumsi yang sama sebesar 22.772,16 kWh/tahun atau setara 9,65% dari keseluruhan konsumsi listrik perlantainya. Lantai tersebut merupakan lantai dengan jadwal kerja efektif dengan lama penggunaan selama 13,5 jam. Jenis penerangan yang memberikan nilai konsumsi tertinggi adalah lampu TL 36W.

Pada lantai 8 memiliki tingkat konsumsi sebesar 25.882,08 kWh/tahun atau setara 11% dari total konsumsi keeseluruhan. Pada lantai ini diaplikasikan lampu TL LED 18W yang bisa memberikan penghematan 50% dari rata-rata konsumsi lampu TL lantai lainnya. Sekalipun dikenakan lampu hemat energi, adanya lampu pada kanopi yang menggunakan lampu merkuri 80W menjadikan konsumsi listrik lebih tinggi seperti halnya lantai 2. Lampu pada kanopi ini dinyalakan secara menerus 24 jam sebagai aksen bangunan, namun tidak dapat diganti karena sulitnya akses.

Adapun intensitas konsumsi energi listrik (IKE) pada aspek penerangan tiap lantai digambarkan pada gambar berikut



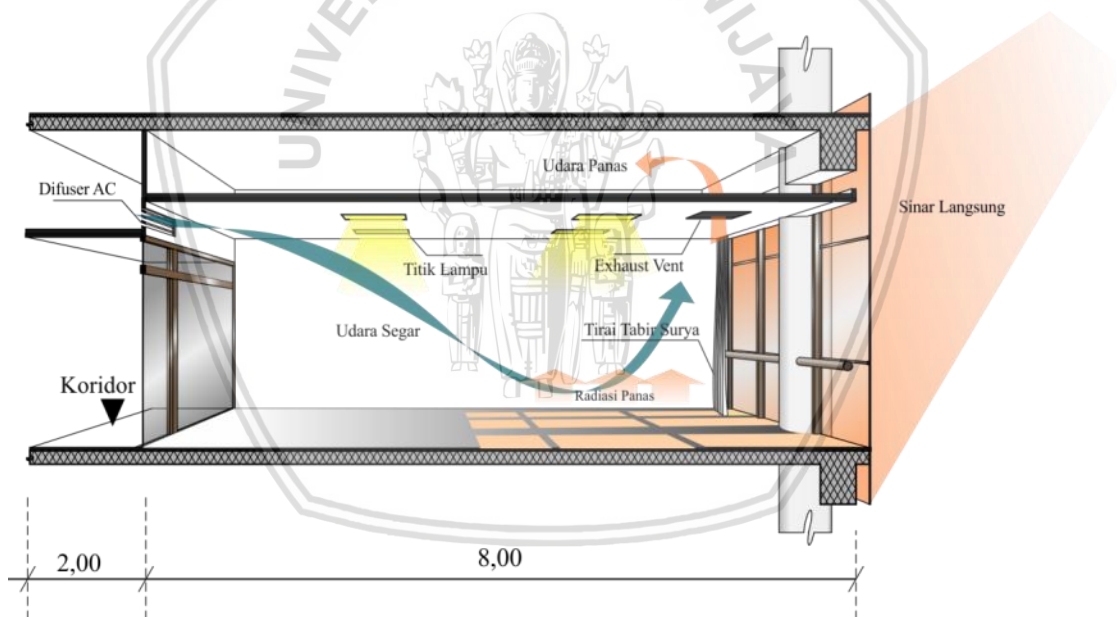
Gambar 4. 39 Intensitas konsumsi energi penerangan permeterpersegi di setiap lantai

## 2. Sistem Pendinginan

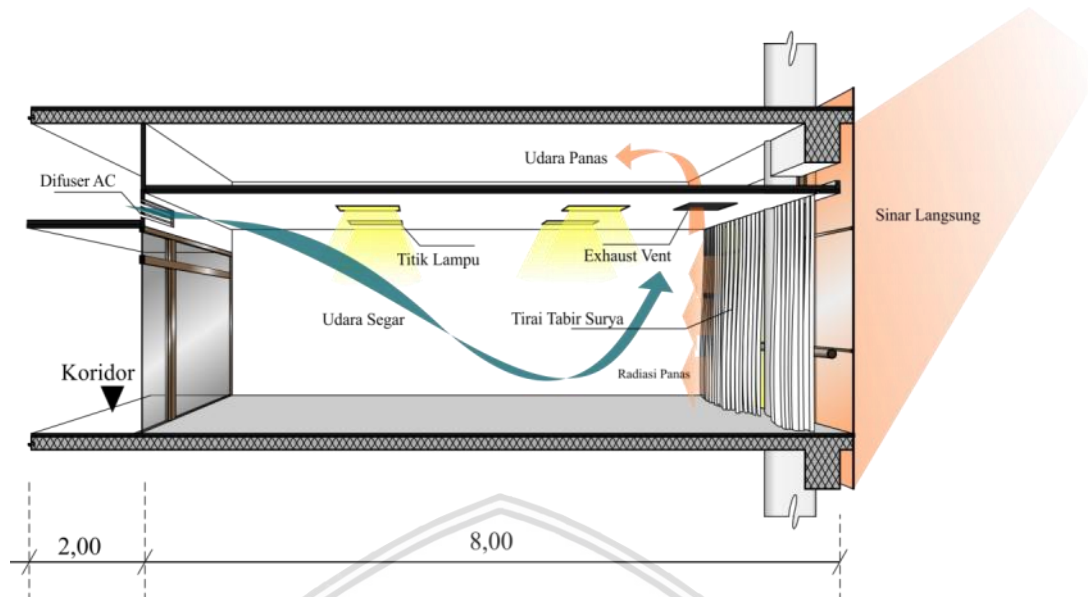
Berdasarkan observasi dan wawancara dari operator, dikatan bahwa mesin pendingin sudah berusia 25 tahun dan dirasa telah mengalami penurunan kualitas dalam mendinginkan ruang. Pada tahun-tahun yang lalu pendingin sudah mampu mendinginkan seluruh ruangan dengan baik, namun saat ini

kemampuan mesin dirasa sudah menurun sehingga diperlukan adanya pendingin tambahan untuk bisa mempertahankan suhu ruang di angka 25°C. Penurunan kualitas kerja pendinginan tentu mengakibatkan ketidakseimbangan antara daya yang dikonsumsi serta hasil yang seharusnya didapatkan. Pada setiap lantai terdapat 1 buah AHU yang bekerja untuk menjangkau seluruh bagian bangunan melalui sistem *ducting*.

Berdasarkan pengamatan, sumber utama panas yang dibebankan berasal dari perimeter bangunan yang menghadap langsung ke arah datangnya sinar matahari. Terutama penggunaan material transparan yang memungkinkan masuknya panas matahari langsung ke dalam ruang secara berlebih. Penggunaan tirai tabir surya cukup membantu dalam menghalau panas untuk masuk langsung mengenai pengguna, tetapi radiasi panas masih terasa pada material selubung bangunan. Secara jelas hal tersebut akan dijelaskan pada gambar berikut



Gambar 4. 40 Ilustrasi radiasi panas matahari langsung yang masuk ke dalam bangunan



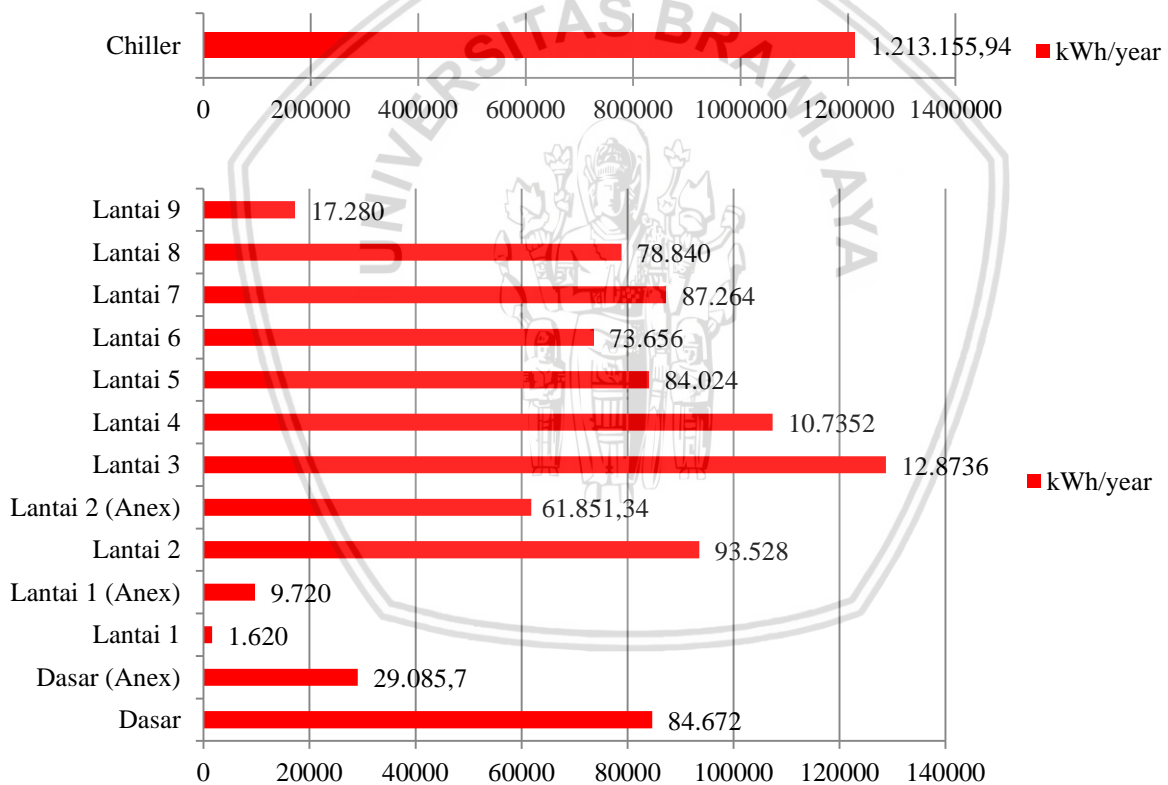
Gambar 4. 41 Ilustrasi radiasi panas langsung matahari yang tertahan pada material perimeter bangunan

Perhitungan total beban pendinginan bangunan didapatkan dari perhitungan kuat arus langsung pada konsumsi mesin pendingin sentral serta perhitungan dari spesifikasi unit pendingin yang digunakan berdasar durasi penggunaannya. Secara rinci perhitungan penggunaan beban pendinginan dijabarkan pada tabel dan gambar berikut

Tabel 4. 6 Konsumsi energi listrik untuk penggunaan pendinginan bangunan

Lantai	Jenis Pendinginan	PK	Jumlah	Watt	Week day	Week end	Penggunaan per bulan (kWh)	Penggunaan per tahun (kWh)
ME	Kompresor 1		2	105.308,70	12	0	50.548,18	606.578,11
	Kompresor 2		2	84.246,95	12	0	40.438,54	485.262,43
	Pompa Chiller		2	21.061,70	12	0	10.109,62	121.315,40
Dasar	AHU Central	20	1	15.000,00	12	0	3.600,00	43.200,00
	AC Standing	5	4	4.800,00	9	0	3.456,00	41.472,00
Dasar	AC Split	2	5	1.500,00	9	0	1.350,00	16.200,00
(Anex)	AC Ceiling	4	2	2.982,80	9	0	1.073,81	12.885,70
Lantai 1	AC Split	2	1	750,00	9	0	135,00	1.620,00
1 (Anex)	AC Split	2	3	1.500,00	9	0	810,00	9.720,00
Lantai 2	AHU Central	20	1	15.000,00	12	0	3.600,00	43.200,00
	AC Standing	5	3	4.800,00	9	0	2.592,00	31.104,00
	AC Split	2	4	1.500,00	9	0	1.080,00	12.960,00
		1.5	2	1.075,00	9	0	387,00	4.644,00
		1	1	750,00	9	0	135,00	1.620,00
2 (Anex)	AC Central	12	4	8.948,40	6	6	5.154,28	61.851,34
Lantai 3	AHU Central	20	1	15.000,00	12	0	3.600,00	43.200,00
	AC Standing	5	4	4.800,00	12	0	4.608,00	55.296,00
	AC Split	2	5	1.500,00	12	0	1.800,00	21.600,00

		1	4	750,00	12	0	720,00	8.640,00
Lantai 4	AHU Central	20	1	15.000,00	12	0	3.600,00	43.200,00
	AC Standing	5	4	4.800,00	9	0	3.456,00	41.472,00
	AC Split	2	7	1.500,00	9	0	1.890,00	22.680,00
Lantai 5	AHU Central	20	1	15.000,00	12	0	3.600,00	43.200,00
	AC Standing	5	3	4.800,00	9	0	2.592,00	31.104,00
	AC Split	2	3	1.500,00	9	0	810,00	9.720,00
Lantai 6	AHU Central	20	1	15.000,00	12	0	3.600,00	43.200,00
	AC Standing	5	2	4.800,00	9	0	1.728,00	20.736,00
	AC Split	2	3	1.500,00	9	0	810,00	9.720,00
Lantai 7	AHU Central	20	1	15.000,00	12	0	3.600,00	43.200,00
	AC Standing	5	3	4.800,00	9	0	2.592,00	31.104,00
	AC Split	2	4	1.500,00	9	0	1.080,00	12.960,00
Lantai 8	AHU Central	20	1	15.000,00	12	0	3.600,00	43.200,00
	AC Split	3	1	2.250,00	9	0	405,00	4.860,00
		2	9	1.500,00	9	0	2.430,00	29.160,00
		1	1	750,00	9	0	135,00	1.620,00
Lantai 9	AC Split	2	2	1.500,00	24	0	1.440,00	17.280,00
<b>Total</b>							<b>172.565,41</b>	<b>2.070.785,00</b>

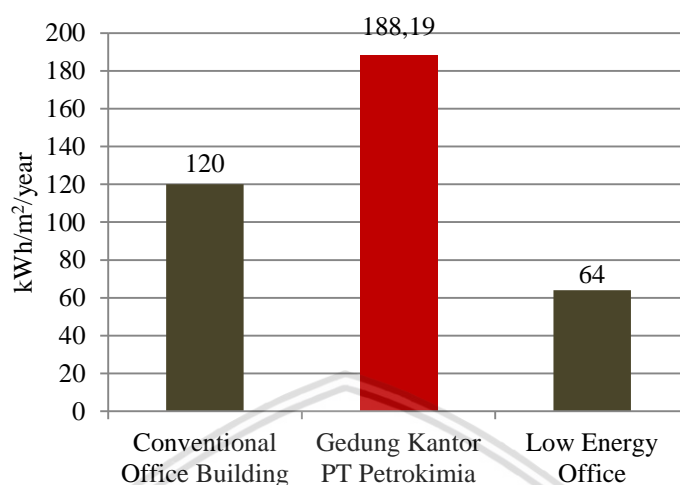


Gambar 4. 42 Tingkat konsumsi penggunaan listrik untuk pendinginan di setiap lantai

Dari tabel dan gambar tersebut dapat diketahui bahwa total konsumsi listrik pada aspek pendinginan mencapai 2.070.785 kWh/tahun. Rata-rata intensitas konsumsi permeter persegi penggunaan listrik mencapai 188,19 kWh/year/m<sup>2</sup>. Mengacu pada studi *Low Energy Building*, angka tersebut

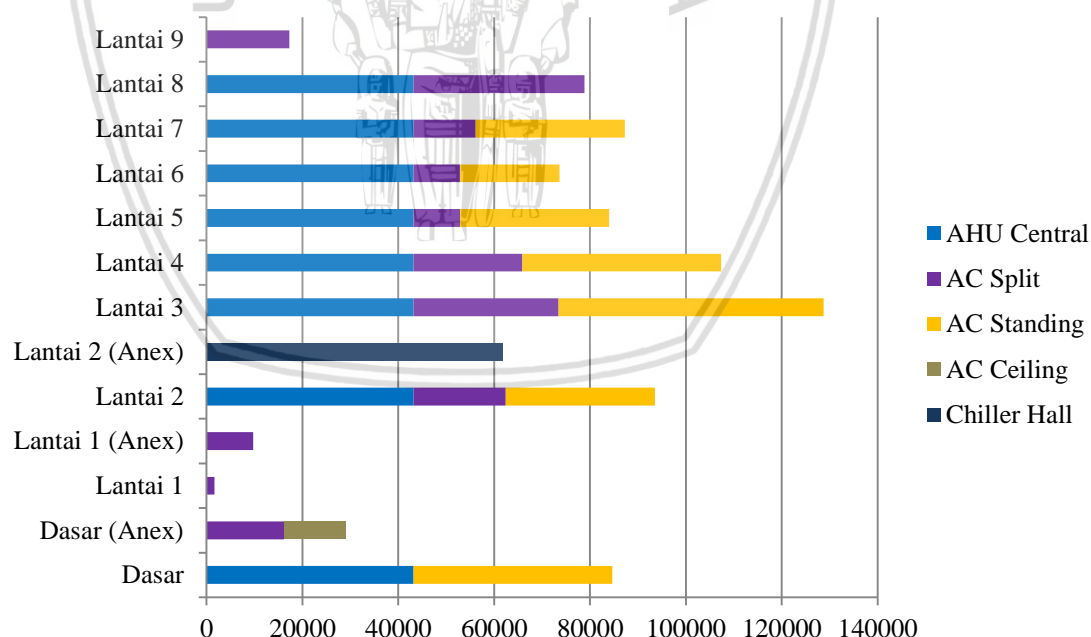


melebihi standar dimana pada umumnya intensitas konsumsi untuk pendinginan berada di angka 120 kWh/year/m<sup>2</sup>.



Gambar 4. 43 Perbandingan IKE pendinginan gedung kantor PT Petrokimia

Adapun secara rinci besar porsi konsumsi masing-masing jenis pendinginan buatan yang digunakan dijelaskan pada gambar berikut



Gambar 4. 44 Konsumsi masing-masing jenis pendinginan buatan

Pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa jenis pendinginan sentral memiliki kontribusi yang tinggi dengan penggunaan mesin AHU per lantai

mencapai 43.200 kWh/tahun disusul dengan penggunaan pendingin AC Standing yang digunakan sesuai kebutuhan.

Pada lantai Dasar, digunakan pendinginan AHU sentral. Jenis pendinginan lain yang digunakan adalah AC Standing 5pk. Total konsumsi lantai ini mencapai 84.672 kWh/tahun atau setara 4,01% konsumsi total. Pada lantai Dasar (Anex) digunakan pendingin AC split dan Ceiling pada ruang kerja. Total konsumsi listrik lantai ini mencapai 29.085,7 kWh/tahun atau setara 1,4% total konsumsi listrik bangunan.

Pada lantai 1 digunakan pendinginan split sebanyak 1 unit yang dipasang pada ruang kerja. Sementara untuk pendinginan lobby mengikut AHU yang berada pada lantai dasar. Total penggunaan pada lantai ini hanya mencapai 1.620 kWh/tahun atau hanya 0,08% dari penggunaan total. Lantai ini memiliki tingkat konsumsi yang paling kecil. Pada lantai 1 (Anex) digunakan pendingin split pula. Konsumsi pada lantai ini mencapai 9.720 kWh/tahun atau setara 0,47% dari penggunaan total.

Pada lantai 2 digunakan pendingin sentral dengan tambahan 3 AC Standing dan 7 AC Split. Total konsumsi daya pendinginan lantai ini mencapai 93.528 kWh/tahun atau setara 4,5% daya total yang dikonsumsi. Pada lantai 2 (Anex) yang difungsikan sebagai main hall, digunakan pendingin sentral secara mandiri. Besar daya yang dikonsumsi untuk penggunaan tersebut mencapai 61.851,34 kWh/tahun atau setara 3% penggunaan total. Mesin pendingin tersebut hanya dinyalakan apabila terdapat acara yang diselenggarakan.

Pada lantai 3 hingga lantai 8 digunakan pendingin sentral serta tambahan AC Standing dan AC Split. Pada lantai 9 hanya digunakan pendinginan untuk mesin lift dengan menggunakan AC Split. Lantai 3 memiliki tingkat konsumsi listrik sebesar 128.736 kWh/tahun atau setara 6,2% dari keseluruhan. Lantai 4 memiliki tingkat konsumsi listrik sebesar 107.352 kWh/tahun atau sama dengan 5,2% dari keseluruhan konsumsi pendinginan bangunan. Lantai 5 memiliki tingkat konsumsi sebesar 84.024 kWh/tahun atau setara dengan 4,1% konsumsi total. Lantai 6 memiliki tingkat konsumsi sebesar 73.556 kWh/tahun atau sama dengan 3,5% penggunaan total. Lantai 7 memiliki tingkat konsumsi sebesar 87.264 kWh/tahun atau setara dengan 4,2% konsumsi total. Lantai 8 memiliki tingkat konsumsi sebesar 78.840 kWh/tahun atau setara dengan 3,8% dari

konsumsi total. Lantai 9 memiliki tingkat konsumsi sebesar 17.280 kWh/tahun atau sama dengan 0,8% dari konsumsi total.

### 3. Sistem Transportasi

Pengukuran pada aspek ini dilakukan secara langsung pada perhitungan spesifikasi mesin yang digunakan. Pada saat ini total arus listrik yang terukur adalah 12 A dengan tegangan listrik yang ada adalah 265 Volt. Dari data tersebut diketahui beban penggunaan pada aspek transportasi sebagai berikut

*Tabel 4. 7 Konsumsi energi listrik untuk penggunaan transportasi bangunan*

Lantai	Ruang	(A)	(V)	Jumlah	Watt	Week day	Week end	Penggunaan per bulan (kWh)	Penggunaan per tahun (kWh)
Dasar-8	Elevator	12	265	4	4.406,34	15	0	5.287,61	<b>63.451,3</b>

Dari tabel di atas diketahui bahwa total konsumsi listrik dalam setahun pada penggunaan mesin lift sebesar 63.451,3 kWh/tahun.

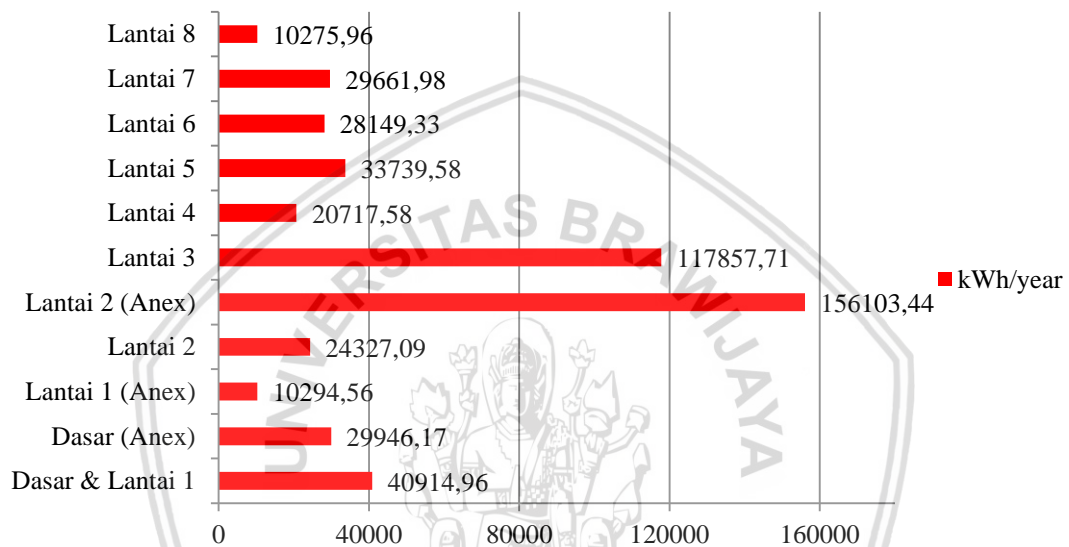
### 4. Penggunaan Peralatan Perkantoran

Terdapat banyak peralatan elektronik yang digunakan pada objek studi. Untuk memudahkan pengukuran, dilakukan pengukuran pada arus listrik yang dikonsumsi pada panel listrik. Dengan demikian, dapat diketahui daya yang digunakan pada setiap lantai. Selain untuk peralatan elektronik, panel tersebut juga tergabung dengan alat penerangan. Maka untuk mengetahui besar beban pada aspek ini, perhitungan beban pada panel akan dikurangi dengan beban penerangan dengan durasi yang sama. Adapun hasil dari pengukuran akan dijelaskan pada tabel berikut

*Tabel 4. 8 Konsumsi energi listrik untuk penggunaan peralatan perkantoran*

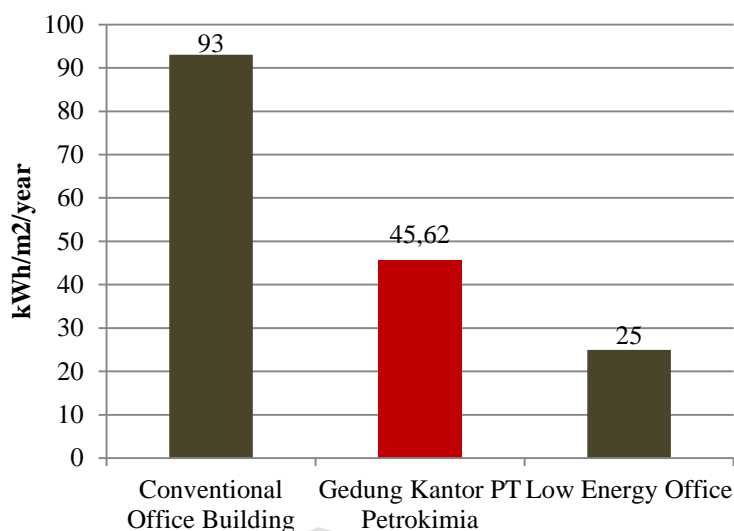
Lantai	Ampere (V=220)			Daya (W)	Week day	Week end	Beban dalam satu bulan (kWh)	Beban Penerangan satu bulan (kWh)	Total beban alat elektronik (kWh)	Beban per tahun (kWh)
	R	S	T							
Dasar & Lantai 1	26,8	35,8	21,8	25.698,1	9	0	4.625,7	1.216,1	3.409,6	40.914,96
Dasar (Anex)	12,3	25,6	18,7	17.233,6	9	0	3.102,0	606,5	2.495,5	29.946,17
Lantai 1 (Anex)	11	17,7	11,6	12.270,5	9	0	2.055,2	1.197,4	857,9	10.294,56

Lantai 2	27,4	4,1	6	11418,0	9	0	2.208,7	181,4	2.027,3	24.327,09
Lantai 2 (Anex)	105	110	103	96.824,6	6	6	13.942,7	934,1	13.008,6	156.103,44
Lantai 3	45,4	33,3	10,9	27281,4	24	0	13.095,1	3.273,6	9.821,5	117.857,71
Lantai 4	12,3	20,9	20,7	16411,5	9	0	2.954,1	1.227,6	1.726,5	20.717,58
Lantai 5	28	21,5	24,2	22440,2	9	0	4.039,2	1.227,6	2.811,6	33.739,58
Lantai 6	17,7	17,9	29,6	19852,1	9	0	3.573,4	1.227,6	2.345,8	28.149,33
Lantai 7	24,9	24,8	17,8	20552,4	9	0	3.699,4	1.227,6	2.471,8	29.661,98
Lantai 8	5,6	8,8	18,5	10017,4	9	0	1.803,1	946,8	856,3	10.275,96
<b>Total</b>									<b>41.832,4</b>	<b>501.988,38</b>

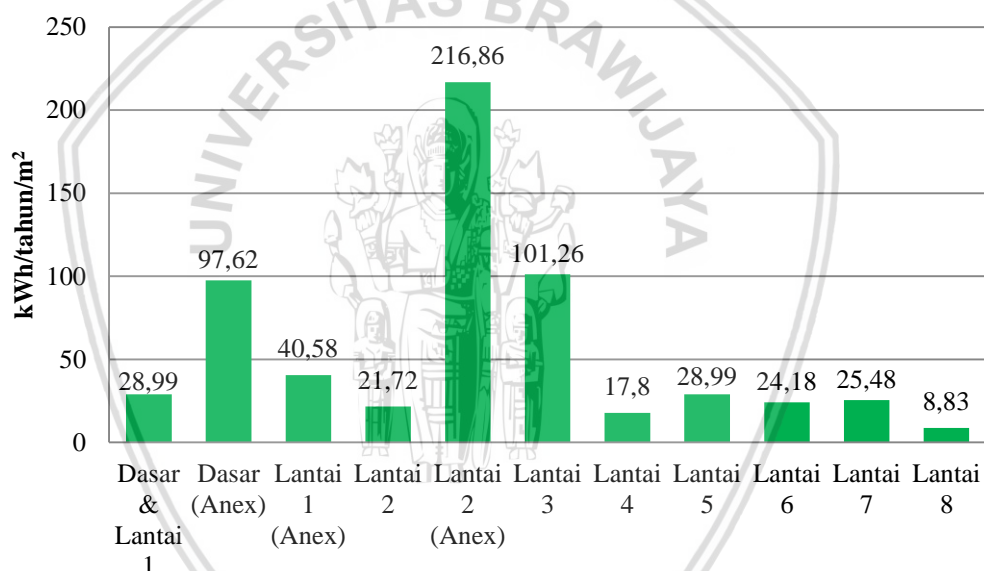


Gambar 4. 45 Tingkat konsumsi listrik untuk penggunaan peralatan kantor

Dari tabel dan gambar tersebut dapat diketahui bahwa total konsumsi listrik pada aspek penggunaan peralatan elektronik mencapai 501.988,38 kWh/tahun. Rata-rata intensitas konsumsi per meter persegi penggunaan listrik mencapai 45,62 kWh/year/m<sup>2</sup>. Mengacu pada studi *Low Energy Building*, angka tersebut berada di angka standar dimana pada umumnya intensitas konsumsi untuk penggunaan peralatan kantor berada di angka 93 kWh/year/m<sup>2</sup>.



Gambar 4. 46 Perbandingan IKE penggunaan peralatan kantor gedung PT Petrokimia



Gambar 4. 47 Tingkat konsumsi listrik untuk penggunaan peralatan kantor di setiap lantai

### 4.2.3 Hasil Audit Energi

Dari rangkaian audit penggunaan energi listrik pada objek studi, dapat dihasilkan data hasil perhitungan konsumsi energi pada masing-masing aspek pengguna energi listrik serta masukan-masukan dari observasi.

Dari perhitungan beban keseluruhan, didapatkan data akhir sebagai berikut;

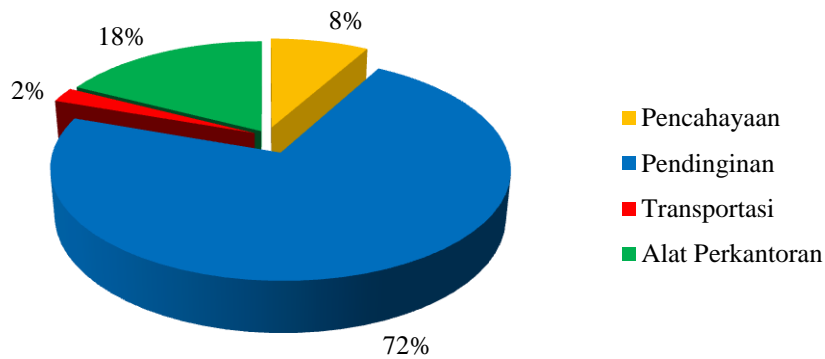
total penggunaan listrik untuk pencahayaan = 235.836,29 kWh/tahun,

total penggunaan listrik untuk pendinginan = 2.070.785 kWh/tahun,

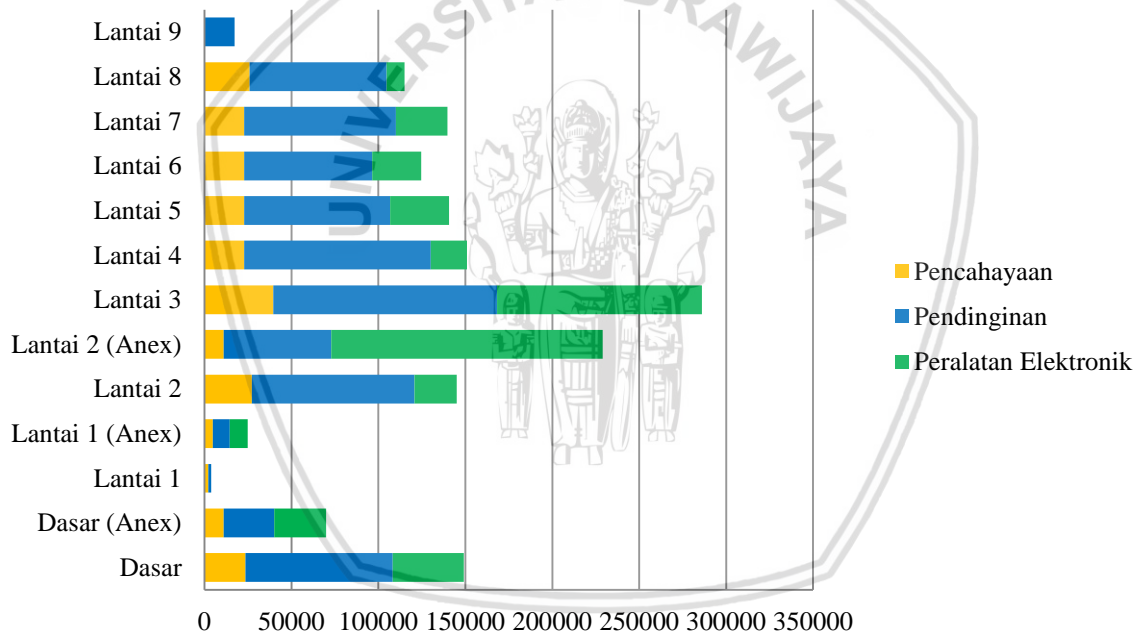
total penggunaan listrik untuk transportasi = 63.451,3 kWh/tahun,



total penggunaan listrik untuk peralatan kantor = 501.988,38 kWh/tahun,  
sehingga total keseluruhan penggunaan listrik adalah 2.872.061 kWh/tahun.



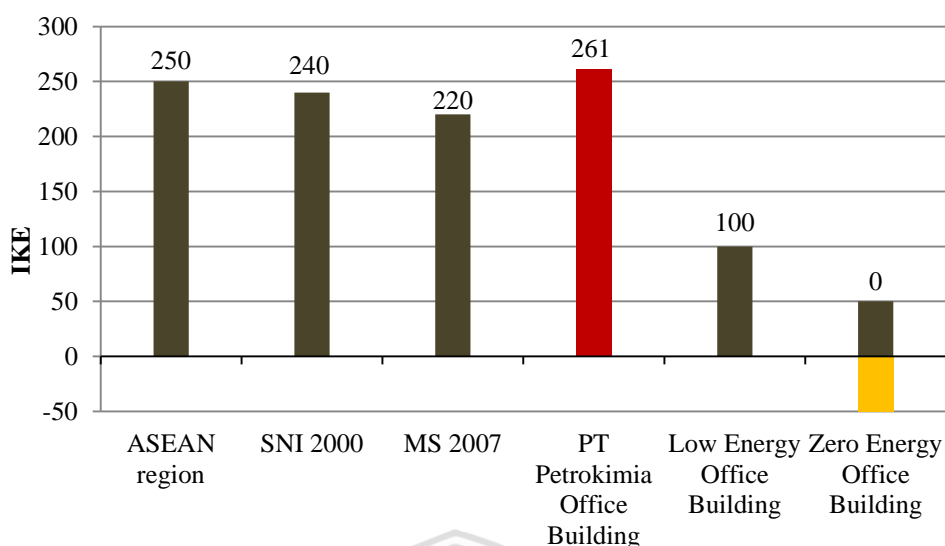
Gambar 4. 48 Diagram pembagian energi listrik keseluruhan gedung kantor PT Petrokimia



Gambar 4. 49 Pembagian porsi aspek pada setiap lantai

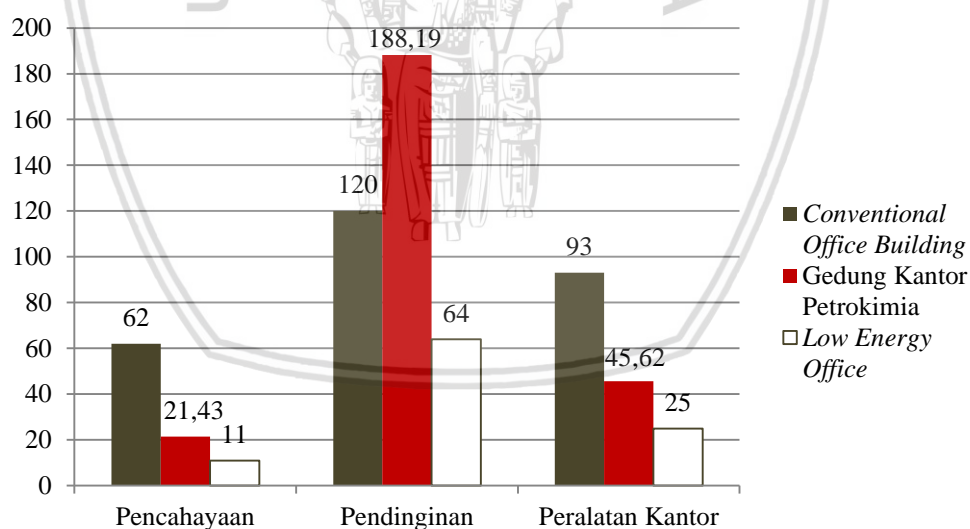
Adapun Indeks Konsumsi Energi (IKE) yang didapat pada audit secara keseluruhan dijelaskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{IKE} &= \frac{2.872.061}{11.004} \text{ kWh/m}^2/\text{tahun} \\ &= 261 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun} \end{aligned}$$



Gambar 4. 50 IKE auit energi gedung kantor pusat PT Petrokimia

Dari perbandingan hasil IKE dengan beberapa standar, dapat diketahui bahwa indeks konsumsi energi pada gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik mampu mencapai 261 kWh/ m<sup>2</sup>/tahun atau berada di atas standar baik secara internasional maupun nasional.



Gambar 4. 51 Perbandingan IKE gedung kantor PT Petrokimia dengan beberapa standar berdasarkan studi mengenai Low Energy Building

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa aspek pendinginan memiliki intensitas konsumsi energi paling tinggi diantara aspek lainnya. Berdasarkan standar yang ada, aspek ini berada pada angka di atas rata-rata sehingga dapat dikatakan mengalami keborosan. Angka yang didapat menunjukkan bahwa konsumsi pendinginan 47% lebih boros dari

angka umum penggunaan pendinginan. Untuk itu perlu dilakukan langkah penghematan sehingga bisa meminimalkan keborosan yang terjadi. Setidaknya dibutuhkan penghematan sebesar 47% tersebut untuk bisa berada di angka standar.

Pada aspek pencahayaan dan penggunaan peralatan kantor, tingkat konsumsi masih berada di bawah standar. Penggunaan pada aspek pencahayaan dapat dikatakan 65,4% lebih hemat dari angka standar, sedangkan penggunaan pada aspek penggunaan peralatan kantor dapat dikatakan lebih hemat 50,9% dari standar. Meskipun demikian, ada baiknya apabila dilakukan langkah konservasi energi guna mengoptimalkan penggunaan energi. Penghematan menuju bangunan kantor yang rendah energi (*Low Energy Building*) akan memiliki dampak yang cukup besar. Tak hanya sebatas penghematan biaya pembelian energi, namun juga kelestarian energi untuk masa depan.

Adapun beberapa masukan yang patut dipertimbangkan dari hasil observasi dan audit yang dilakukan dijabarkan terkait selubung bangunan serta penggunaan energi yang meliputi aspek pencahayaan serta pendinginan dijabarkan pada tabel berikut

Tabel 4. 9 Masukan hasil observasi dan audit energi serta peluang penghematan yang memungkinkan

Masukan hasil observasi dan audit	
Aspek Pendinginan	1. Selubung transparan yang mengenai ruang-ruang utama menggunakan kaca <i>single glazing</i> dengan <i>coating</i> film yang memiliki koefisien hantar panas sebesar 0,64.
	2. Pendingin sentral menggunakan mesin chiller yang telah berusia 25 tahun dengan konsumsi energi mencapai 1.213.155.94 kWh/tahun. Untuk menjaga ketahanannya sering dilakukan maintenance dengan biaya cukup tinggi yang harus dikeluarkan.
	3. Mesin pendingin mengalami penurunan kualitas seiring dengan laju usia mesin. Tingkat kedinginan yang dihasilkan semakin menurun.
	4. Peletakkan difuser pada sisi koridor memungkinkan berkurangnya persebaran udara dingin pada sisi terluar.
	5. Kualitas chiller yang menurun serta peletakkan difuser yang tidak mampu menjangkau sisi terluar ruang mengakibatkan penambahan unit pendingin. Hal tersebut memberikan tambahan beban penggunaan listrik.
Peluang Penghematan	
Aspek Pendinginan	1. Pertimbangan mengelola selubung bangunan guna mengurangi intensitas panas yang masuk ke dalam bangunan.
	2. Pertimbangan untuk mengganti mesin pendingin conventional dengan pendingin berteknologi inverter untuk menghemat energi.
	3. Pertimbangan untuk pengaturan ulang posisi difuser udara dingin sehingga persebaran udara dingin lebih merata serta mengurangi penggunaan mesin pendingin tambahan.
Masukan hasil observasi dan audit	
Aspek Pencahayaan	1. Selubung bangunan yang berhubungan langsung dengan ruang utama sepenuhnya merupakan bukaan transparan dengan jenis kaca berlapis film dengan tingkat koefisien visible 0,37.
	2. Besarnya porsi bukaan mengakibatkan <i>sunpatch</i> atau cerlang cahaya masuk secara berlebihan. Hal ini diantisipasi dengan menggunakan tirai tabir surya. Penggunaan tirai memberikan penurunan kuat terang cahaya alami serta nilai kurang terhadap adanya pengaliran visual dari ruang luar untuk menunjang suasana bekerja.

3. Kuat terang pada pengukuran penerangan alami didapat angka rata-rata 450-150 lux pada sisi terluar dan 100-50 lux pada sisi terdalam dengan kuat terang ruang luar 95-70 kLux.
4. Kuat terang rata-rata pada ruang yang menggunakan penerangan buatan adalah 150-250 lux. Angka tersebut berada di bawah standar kenyamanan visual bangunan kantor yakni 350 lux.
5. Penerangan buatan pada ruang utama dinyalakan selama kegiatan perkantoran berlangsung sekalipun pada siang hari dengan rata-rata durasi penggunaan mencapai 13,5 jam/hari.
6. Jenis lampu yang digunakan pada ruang utama adalah lampu TL 36 Watt yang memiliki nilai konsumsi energi tertinggi sebesar 183.481,5 kWh/tahun disusul dengan lampu Merkuri 80 Watt yang berfungsi sebagai aksentasi bangunan dengan konsumsi energi sebesar 21.288,96 kWh/tahun.
7. Sistem operasional penggunaan lampu bersifat manual dimana secara serentak sistem penerangan dinyalakan di awal hari dan dimatikan pada sore hari ketika kegiatan perkantoran selesai.

#### **Peluang Penghematan**

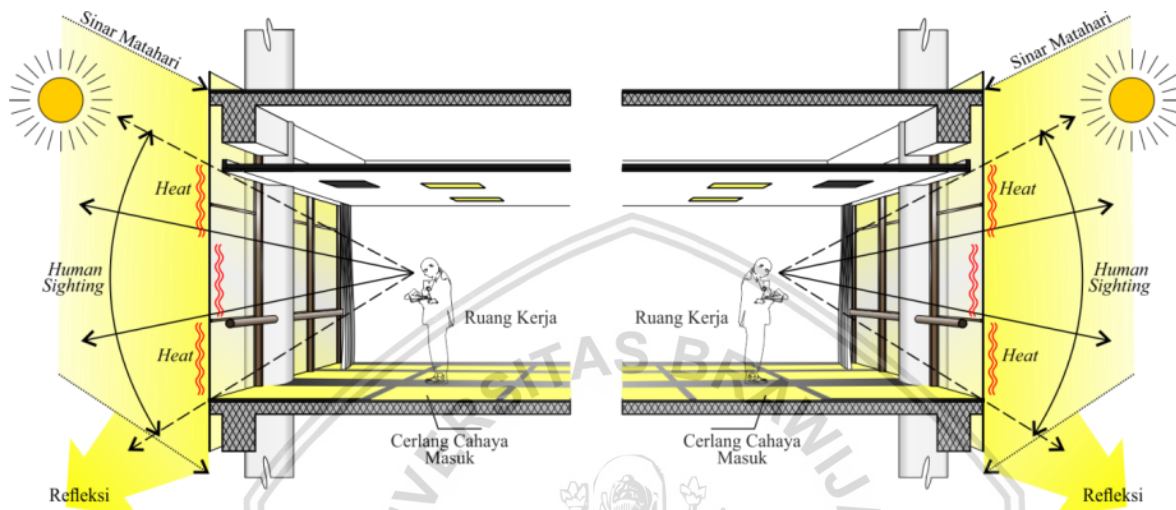
1. Pertimbangan mengelola selubung bangunan guna memanfaatkan daylight sebagai penerangan di siang hari untuk mengurangi durasi penggunaan penerangan buatan serta memperhatikan pengaliran visual ruang luar guna menunjang suasana bekerja agar lebih baik.
2. Pertimbangan memasukkan cahaya ke ruang yang lebih dalam guna meratakan penerangan alami pada bagian terdalam serta meningkatkan kuat terang ruang kerja untuk meningkatkan kenyamanan visual.
3. Pertimbangan untuk mengganti lampu dengan jenis lampu hemat energi terutama pada lampu general ruang kerja serta lampu aksentasi bangunan yang masih menggunakan lampu jenis merkuri.
4. Pertimbangan penggunaan penerangan buatan dengan lumen yang memadai guna mencapai nilai kuat terang yang memenuhi standar penerangan.
5. Pertimbangan untuk melaksanakan operasional terpadu atau dengan sistem otomatis dalam mengontrol operasional penerangan, sehingga tidak terjadi pemborosan penggunaan penerangan.

Berdasarkan masukan hasil observasi serta audit yang telah dilakukan, dihasilkan peluang yang akan digunakan sebagai acuan langkah konservasi energi dengan melakukan beberapa langkah rekomendasi. Langkah rekomendasi tersebut disimulasikan atau dikalkulasi sebagai pembuktian akan penghematan yang bisa dicapai atas peluang konservasi energi tersebut.

### **4.3 Analisis Rekomendasi Peluang Konservasi Energi**

Sorotan yang kuat dari hasil masukan observasi dan audit energi adalah selubung transparan bangunan yang berimbas banyak pada pencahayaan serta pendinginan dalam bangunan. Terutama pada aspek pendinginan yang memiliki angka beban di atas standar berdasarkan hasil audit rinci. Secara arsitektural, selubung bangunan memberikan pengaruh yang besar terutama bukaan yang berperan menghubungkan ruang dalam dan ruang luar. Pada objek studi, bukaan yang mengenai langsung ruang-ruang kerja

sepenuhnya merupakan bukaan transparan. Penggunaan material transparan berperan besar dalam masuknya sinar matahari yang memberikan pencahayaan alami serta radiasi panas. Pada sisi lain, bukaan juga memberikan pengaliran visual antara ruang dalam dan ruang luar. Pemandangan yang didapat dari luar mampu memberikan nilai psikis yang baik untuk mengurangi tekanan saat bekerja.



Gambar 4. 52 Selubung bangunan yang menyelubungi ruang-ruang kerja

Penggunaan bukaan yang lebar tentu lebih baik dalam menangkap cahaya alami sebagai penerangan aktivitas dibandingkan dengan pengolahan bangunan dengan bukaan yang minim. Namun, bukaan yang berlebih juga akan memberikan kondisi tidak nyaman apabila tidak disertai dengan pengaturan yang tepat untuk mencapai kenyamanan visual yang optimal. Bukaan yang berlebih juga menangkap radiasi panas dalam jumlah yang banyak, sehingga beban panas semakin tinggi. Selain disalurkan masuk ke dalam bangunan, panas tersebut juga tertahan dalam bidang alir yang secara tidak langsung memberikan kontribusi beban tertanam. Secara umum, hampir 40% beban pendinginan bangunan berasal dari panas yang ditimbulkan oleh bukaan bangunan. Memutuskan panas yang masuk ke dalam bangunan merupakan cara yang efektif untuk menurunkan suhu ruang yang secara tak langsung pula akan menurunkan beban pendinginan.

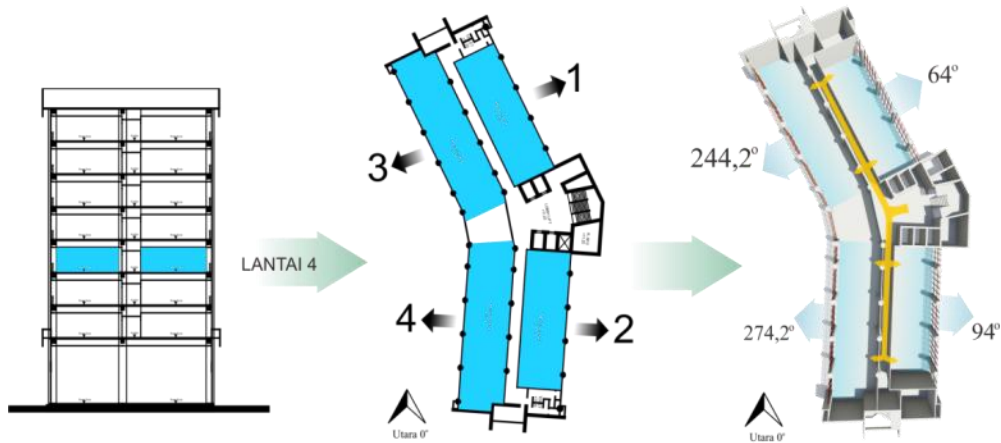
Panas maupun cahaya alami tersebut erat kaitannya dengan peredaran matahari. Terutama pada kondisi dimana matahari berada pada titik rendah. Pada kondisi ini sinar akan menerpa langsung bidang vertikal luar bangunan dengan sudut datang sinar yang mendekati tegak lurus bidang tersebut. Pada kondisi inilah intensitas penerimaan cahaya serta panas sangatlah tinggi dalam bangunan. Pukul 8.00 pagi merupakan waktu terpagi





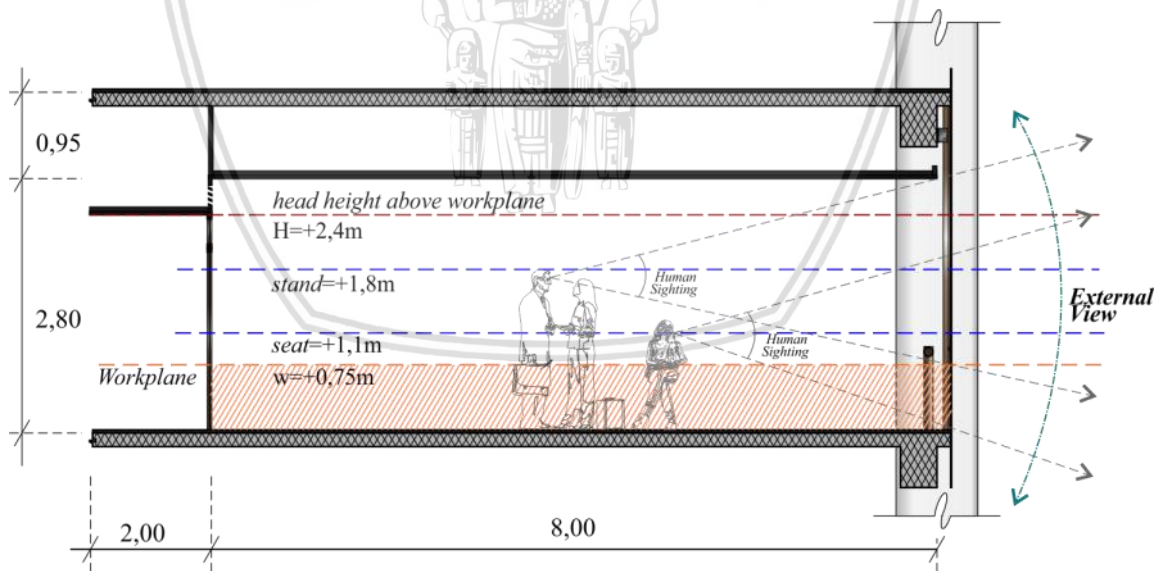
Untuk mengetahui kondisi aktual pencahayaan serta temperatur alami yang terjadi pada bangunan eksisting, digunakan simulasi menggunakan aplikasi simulator pencahayaan Dialux 4 untuk mengetahui persebaran cahaya alami serta aplikasi simulator termal Ecotect 2011 untuk mengetahui temperatur rata-rata pada bangunan. Dalam simulasi ini digunakan 4 sampel menyesuaikan dengan orientasi bangunan yang berbeda dengan ketinggian ruang pada lantai 4 yang merupakan ketinggian pada lantai tengah bangunan.

Untuk mengetahui kondisi aktual pencahayaan serta temperatur alami yang terjadi pada bangunan eksisting, digunakan simulasi menggunakan aplikasi simulator pencahayaan Dialux 4 untuk mengetahui persebaran cahaya alami serta aplikasi simulator termal Ecotect 2011 untuk mengetahui temperatur rata-rata pada bangunan. Dalam simulasi ini digunakan 4 sampel menyesuaikan dengan orientasi bangunan yang berbeda dengan ketinggian ruang pada lantai 4 yang merupakan ketinggian pada lantai tengah bangunan.



Gambar 4. 54 Pembagian sampel simulasi

Adapaun karakteristik ruang dalam pada masing-masing sampel memiliki tatanan serta dimensi elemen yang serupa. Dalam menentukan ketinggian bidang kerja, digunakan acuan pada rekomendasi Moore (1993) dengan ketinggian bidang kerja (*workplane*) adalah 2,5 kaki atau setara 0,75 meter sedangkan ketinggian di atas bidang kerja atau *head height above workplane* (H) adalah 5,5 - 6 kaki atau setara dengan 1,65 - 1,85 meter.

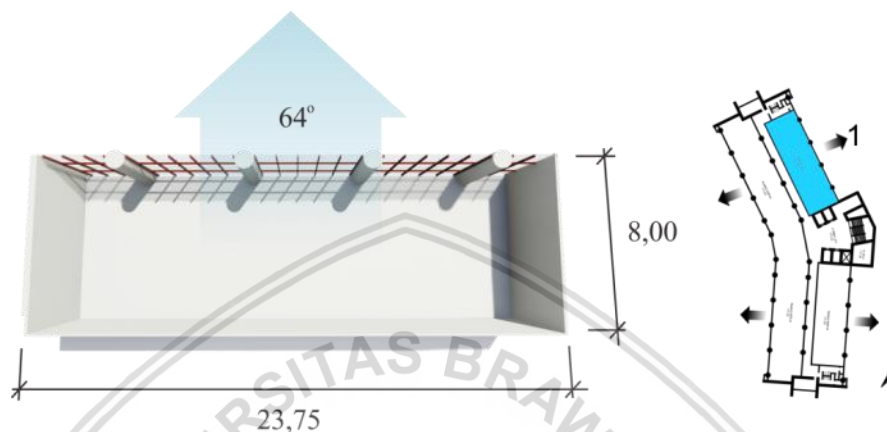


Gambar 4. 55 Ketinggian bidang kerja serta ketinggian di atas bidang kerja yang direkomendasikan pada ruang kerja sampel

Sumber : Moore, 1993

Sampel 1 merupakan ruang kerja yang berada pada sisi timur laut dengan sudut jurusan orientasi 64,2° terhadap sudut jurusan utara 0°. Ruang ini berfungsi sebagai ruang

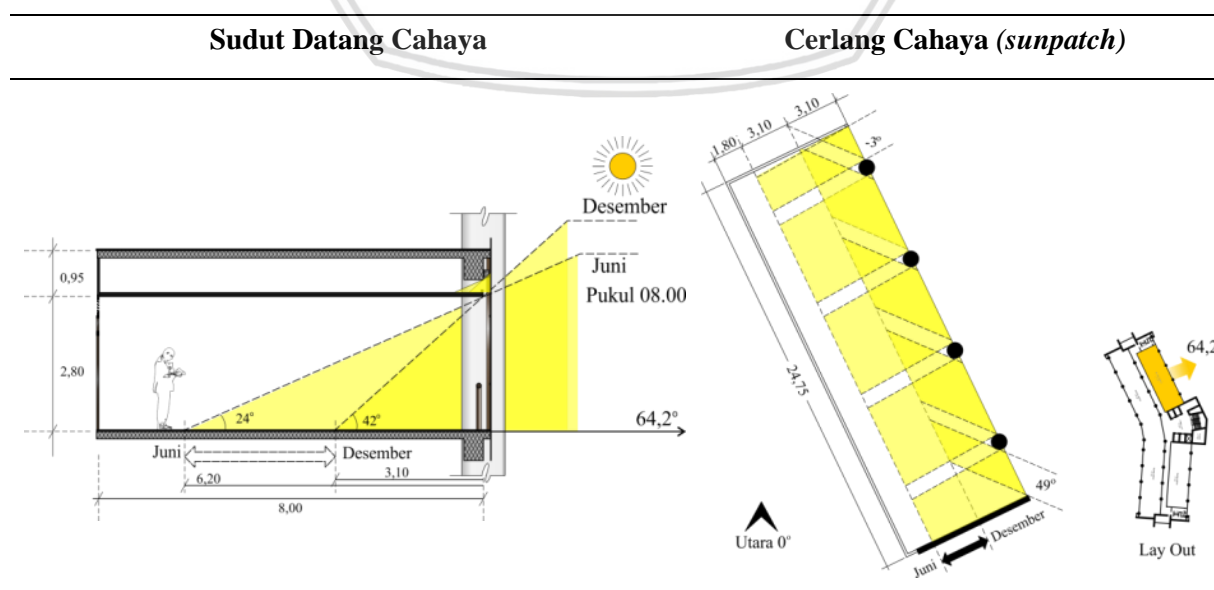
kerja serta memiliki luas 198 m<sup>2</sup> dengan ketinggian ruang 3,60 meter. Lebar ruang memiliki ukuran 8 meter dengan panjang ruang mencapai 24,75 meter. Pada pengukuran diagram *sunpath* 7°S didapatkan sudut datang sinar vertikal pada bulan Juni pukul 8.00 sebesar 24° dan pada bulan Desember pukul 8.00 sebesar 42°. Sedangkan sudut datang sinar horizontal pada bulan Juni pukul 8.00 didapatkan sudut -3° dan pada bulan Desember sebesar 49°.



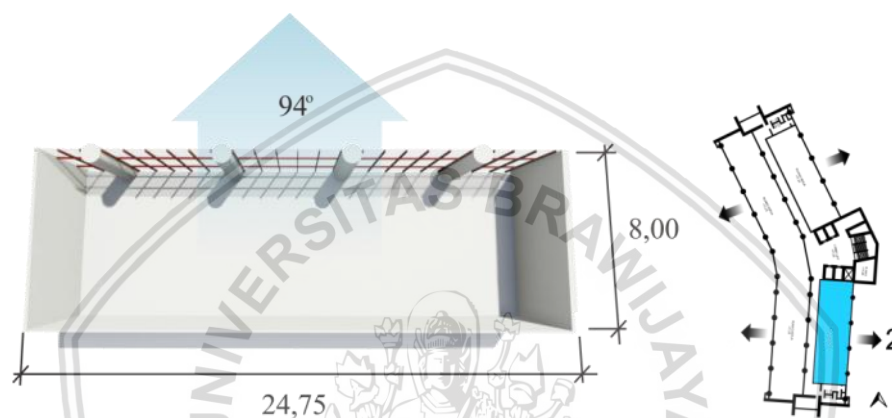
Gambar 4. 56 Denah ortogonal sampel 1

Pada sampel 1 cerlang cahaya yang dihasilkan dari bukaan pada pukul 8.00 pagi mampu masuk ke dalam ruangan dengan kedalaman 6,20 meter hingga 3,10 meter. Dapat dipastikan bahwa 3,1m ruang terluar selalu tersinari matahari sedang 1,8m ruang terdalam selalu terbayangi.

Tabel 4. 10 Sudut datang cahaya dan cerlang cahaya yang terjadi pada sampel 1



Sampel 2 merupakan ruang kerja yang berada pada sisi tenggara dengan sudut jurusan orientasi  $94,2^\circ$  terhadap sudut jurusan utara  $0^\circ$ . Ruang ini berfungsi sebagai ruang kerja serta memiliki luas  $198 \text{ m}^2$  dengan ketinggian ruang 3,60 meter. Lebar ruang memiliki ukuran 8 meter dengan panjang ruang mencapai 24,75 meter. Pada pengukuran diagram *sunpath*  $7^\circ\text{S}$  didapatkan sudut datang sinar vertikal pada bulan Juni pukul 8.00 sebesar  $28^\circ$  dan pada bulan Desember pukul 8.00 sebesar  $31^\circ$ . Sedangkan sudut datang sinar horizontal pada bulan Juni pukul 8.00 didapatkan sudut  $-34^\circ$  dan pada bulan Desember sebesar  $19^\circ$ .

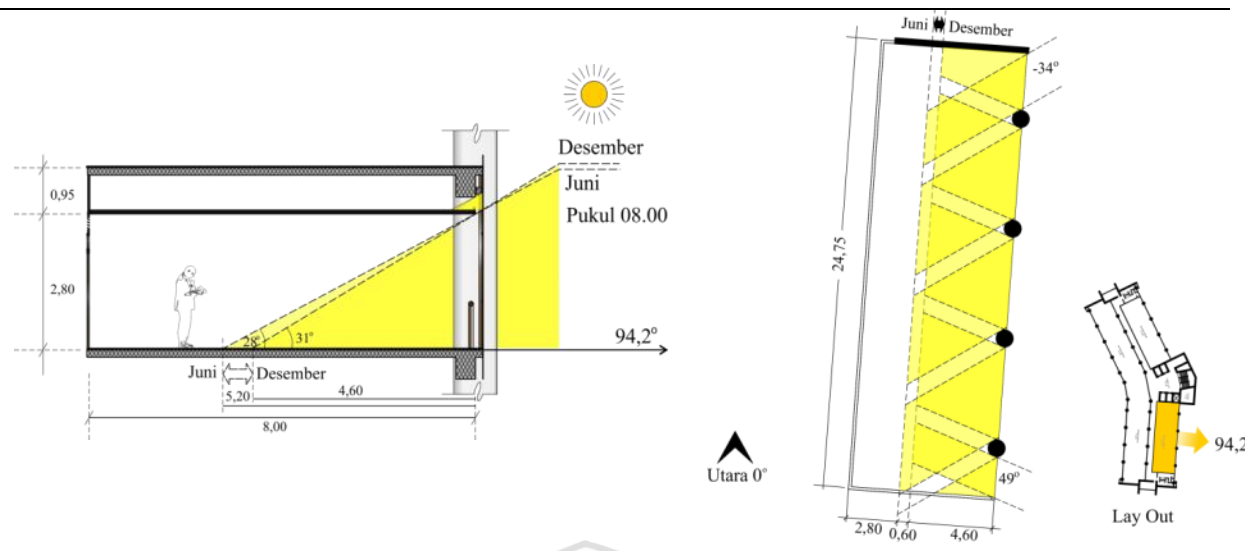


Gambar 4. 57 Denah ortogonal sampel 2

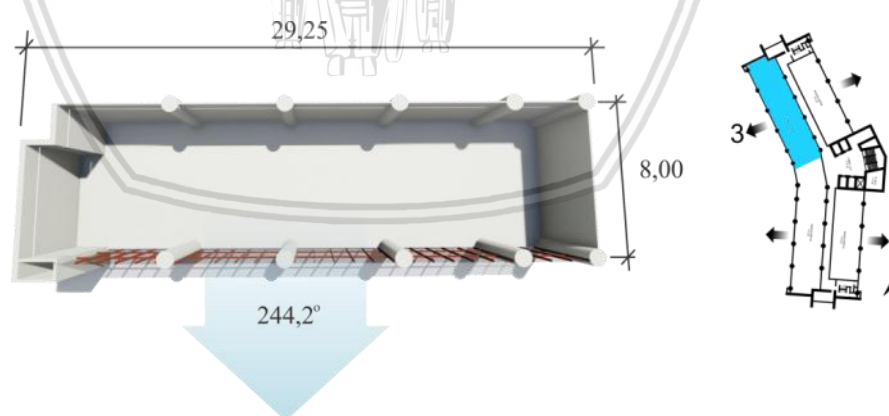
Pada sampel 2 cerlang cahaya yang dihasilkan dari bukaan pada pukul 8.00 pagi mampu masuk ke dalam ruangan dengan kedalaman 5,20 meter hingga 4,60 meter. Dapat dipastikan bahwa 4,6m ruang terluar selalu tersinari matahari sedang 2,8m ruang terdalam selalu terbayangi.

Tabel 4. 11 Sudut datang cahaya serta cerlang cahaya yang terjadi pada sampel 2

Sudut Datang Cahaya	Cerlang Cahaya ( <i>sunpatch</i> )
---------------------	------------------------------------



Sampel 3 merupakan ruang kerja yang berada pada sisi barat laut dengan sudut jurusan orientasi 244,2° terhadap sudut jurusan utara 0°. Ruang ini berfungsi sebagai ruang kerja serta memiliki luas 234 m<sup>2</sup> dengan ketinggian ruang 3,60 meter. Lebar ruang memiliki ukuran 8 meter dengan panjang ruang mencapai 29,25 meter. Pada pengukuran diagram *sunpath* 7°S didapatkan sudut datang sinar vertikal pada bulan Juni pukul 16.00 sebesar 38° dan pada bulan Desember pukul 16.00 sebesar 30°. Sedangkan sudut datang sinar horizontal pada bulan Juni pukul 16.00 didapatkan sudut 55° dan pada bulan Desember sebesar 3°.

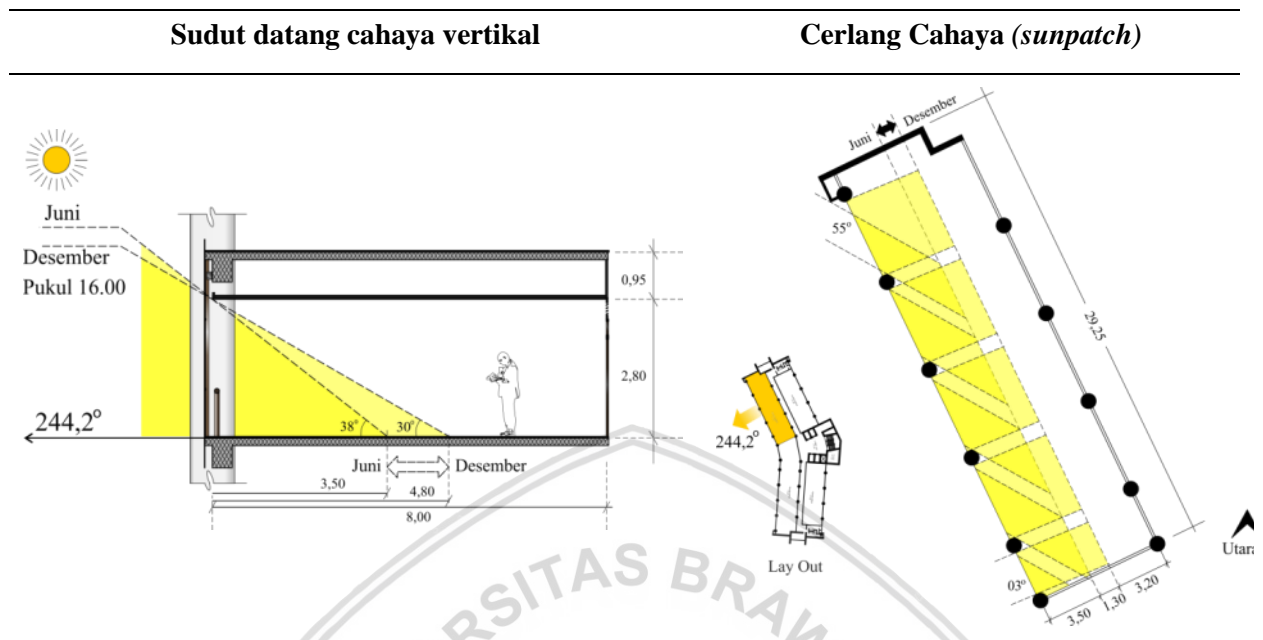


Gambar 4. 58 Denah ortogonal sampel 3

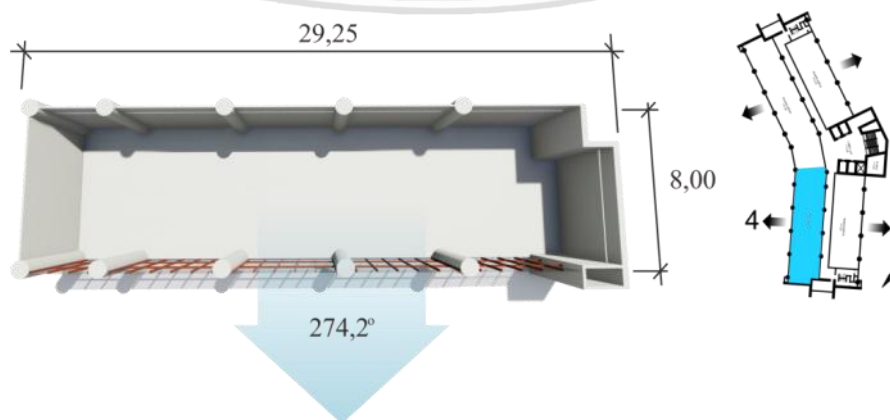
Pada sampel 3 cerlang cahaya yang dihasilkan dari bukaan pada pukul 16.00 sore mampu masuk ke dalam ruangan dengan kedalaman 4,80 meter hingga 3,50 meter. Dapat dipastikan bahwa 3,5m ruang terluar selalu tersinari matahari sedang 3,2m ruang terdalam selalu terbayangi.



Tabel 4. 12 Sudut datang cahaya dan cerlang cahaya yang terjadi pada sampel 3



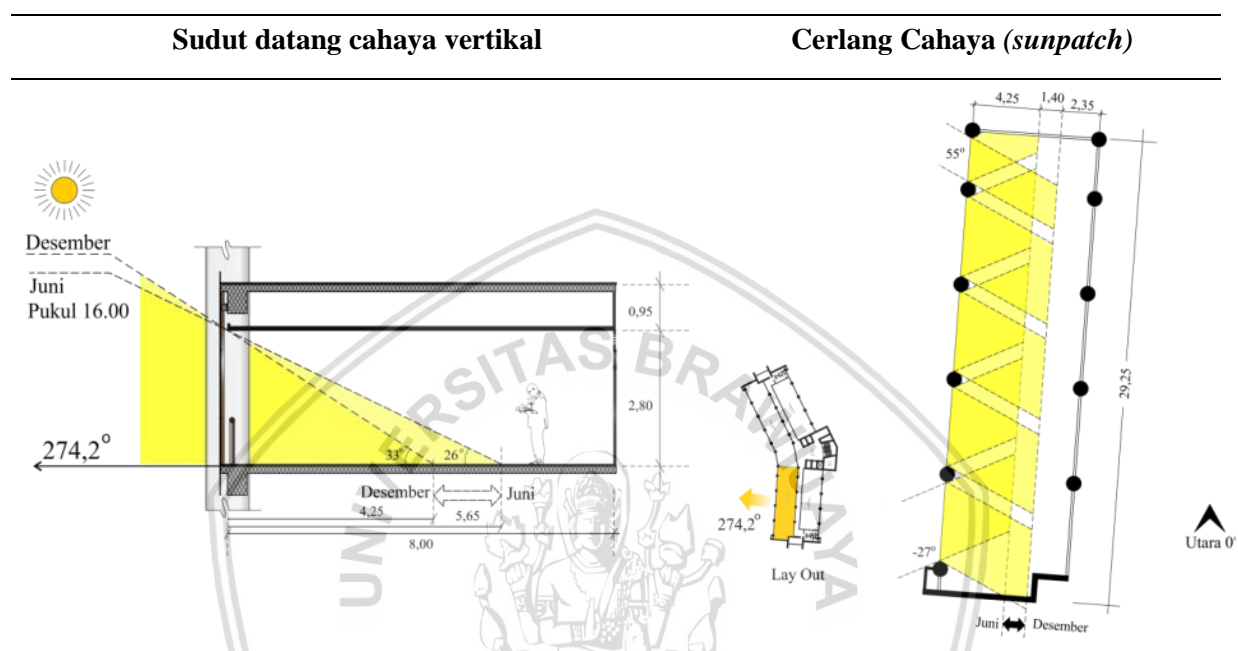
Sampel 4 merupakan ruang kerja yang berada pada sisi barat daya dengan sudut jurusan orientasi  $274,2^\circ$  terhadap sudut jurusan utara  $0^\circ$ . Ruang ini berfungsi sebagai ruang kerja serta memiliki luas  $234 \text{ m}^2$  dengan ketinggian ruang  $3,60$  meter. Lebar ruang memiliki ukuran  $8$  meter dengan panjang ruang mencapai  $29,25$  meter. Pada pengukuran diagram *sunpath*  $7^\circ\text{S}$  didapatkan sudut datang sinar vertikal pada bulan Juni pukul 16.00 sebesar  $26^\circ$  dan pada bulan Desember pukul 16.00 sebesar  $33^\circ$ . Sedangkan sudut datang sinar horizontal pada bulan Juni pukul 16.00 didapatkan sudut  $25^\circ$  dan pada bulan Desember sebesar  $-27^\circ$ .



Gambar 4. 59 Denah ortogonal sampel 4

Pada sampel 4 cerlang cahaya yang dihasilkan dari bukaan pada pukul 16.00 sore mampu masuk ke dalam ruangan dengan kedalaman 5,65 meter hingga 4,25 meter. Dapat dipastikan bahwa 4,25m ruang terluar selalu tersinari matahari sedang 2,35m ruang terdalam selalu terbayangi.

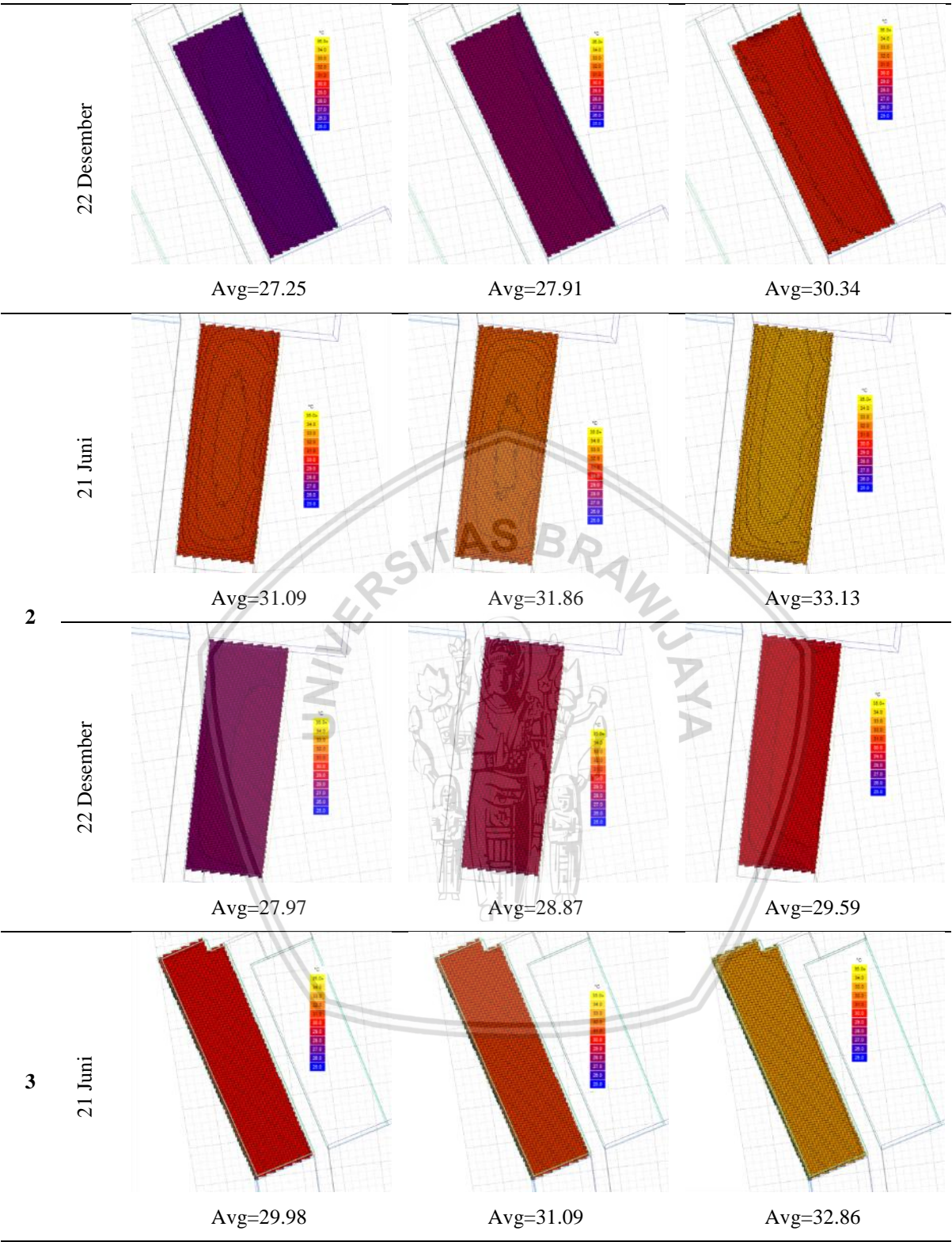
Tabel 4. 13 Sudut datang cahaya serta cerlang cahaya yang terjadi pada sampel 4



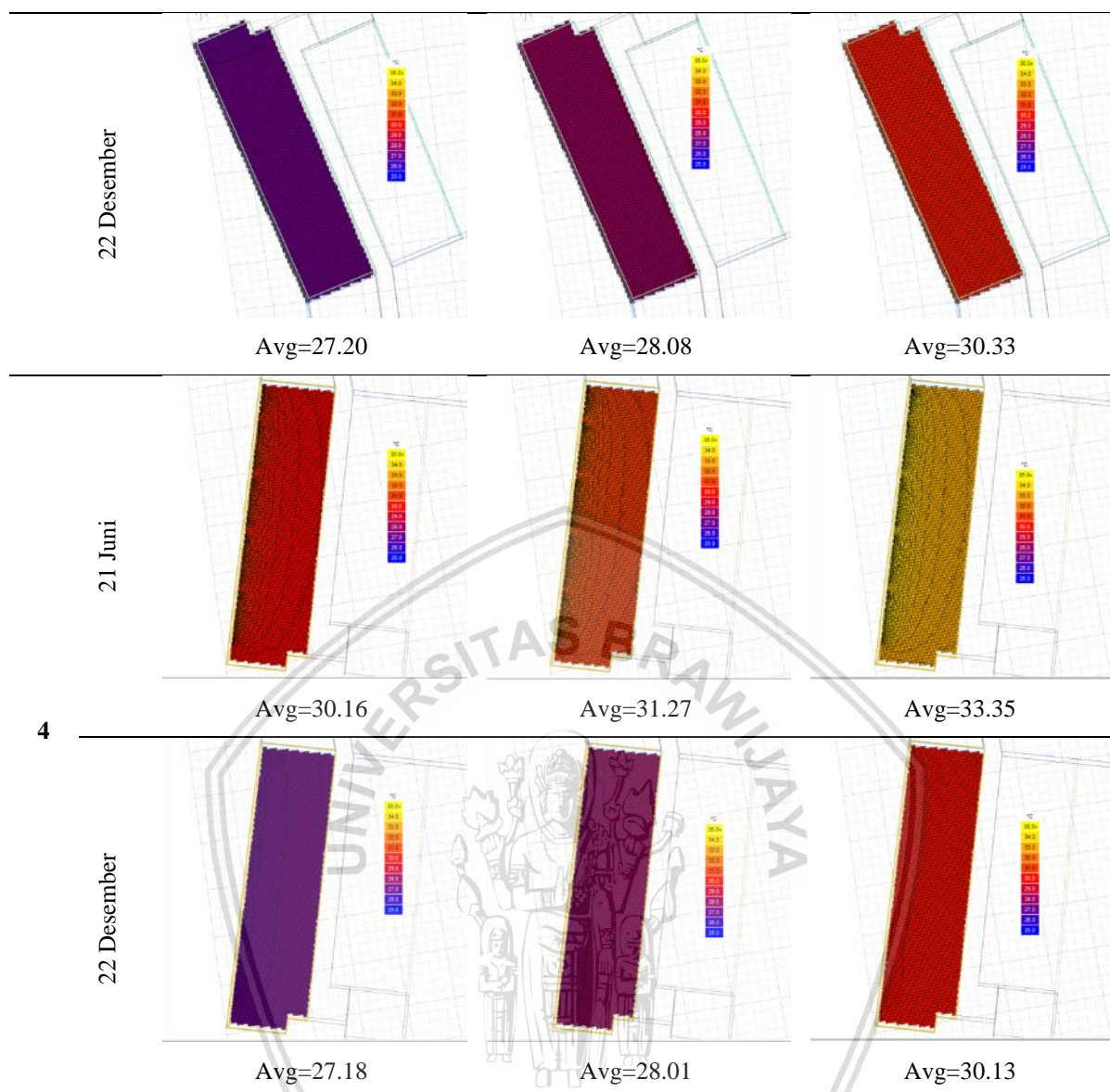
Adapun kondisi temperatur pada masing-masing sampel eksisting disimulasikan guna mengetahui tingkat rata-rata kenyamanan temperatur yang terjadi. Hasil renderasi simulasi dijabarkan pada tabel berikut

Tabel 4. 14 Hasil renderasi simulasi suhu rata-rata (MRT) pada sampel bangunan eksisting

Sampel	Waktu	08.00	12.00	16.00
1	21 juni			





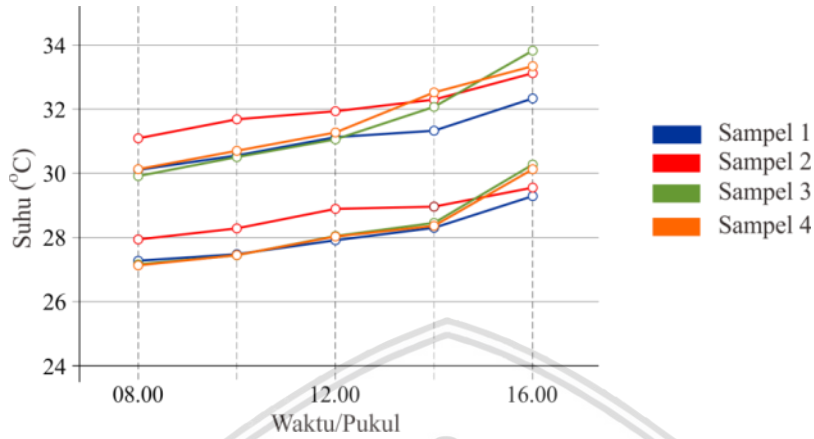


Dari hasil simulasi tersebut dapat diketahui besar suhu rata-rata pada masing-masing sampel eksisting dengan tiga waktu pengujian yakni pukul 08.00 pagi hari, pukul 12.00 siang hari, dan 16.00 sore hari seperti pada tabel berikut

Tabel 4. 15 Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel bangunan eksisting

Sampel	Waktu	Suhu (°C)		
		08.00	12.00	16.00
1	22 Juni	30,12	31,12	32,91
	22 Desember	27,25	27,91	30,34
2	22 Juni	31,09	31,86	33,13
	22 Desember	27,97	28,87	29,59
3	22 Juni	29,98	31,09	32,86
	22 Desember	27,20	28,08	30,33
4	22 Juni	30,16	31,27	33,35
	22 Desember	27,18	28,01	30,13

Dari data tersebut dapat diketahui pola temperatur pada masing-masing sampel eksisting. Perbandingan pola temperatur ditunjukkan pada grafik berikut



Gambar 4. 60 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel bangunan eksisting

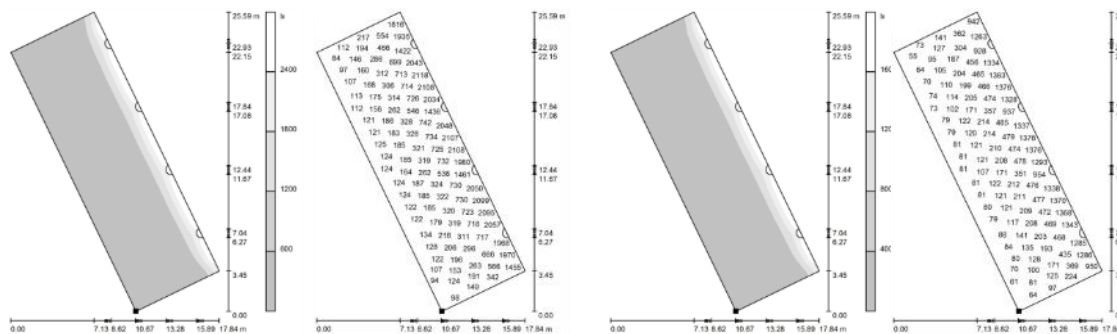
Sedangkan pada aspek pencahayaan yang terjadi pada sampel eksisting, disimulasikan guna mengetahui tingkat rata-rata kuat terang cahaya yang terjadi pada ruang dalam sampel. Adapun hasil renderasi simulasi pencahayaan masing-masing sampel eksisting ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 4. 16 Hasil renderasi simulasi cahaya pada sampel bangunan eksisting

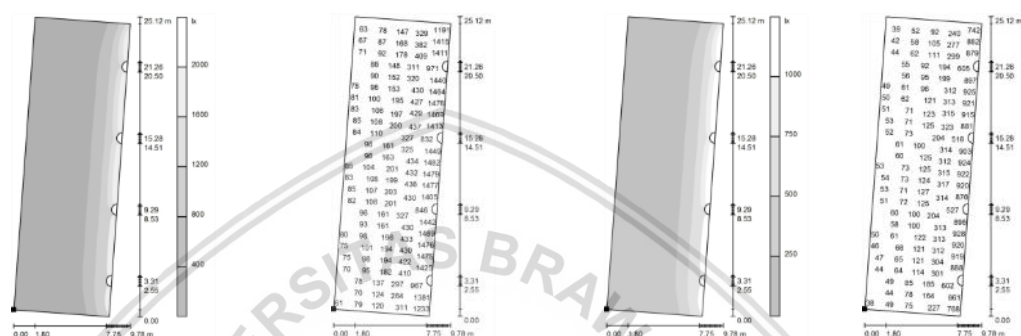
Sampel	Waktu	08.00		16.00	
		21 juni		21 juni	
1	08.00				
	16.00				



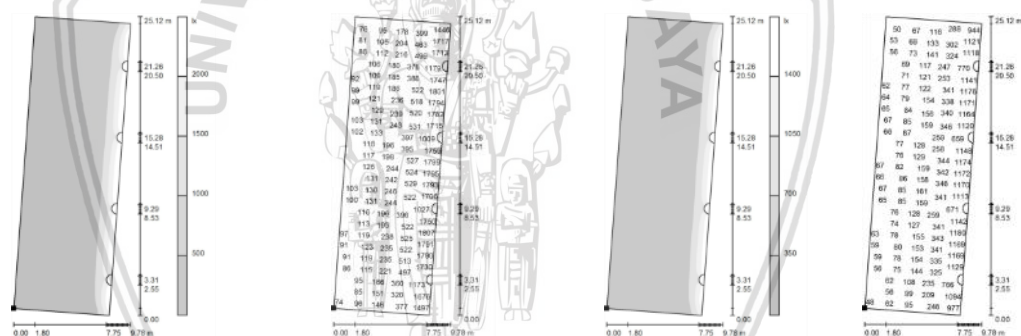
22 Desember



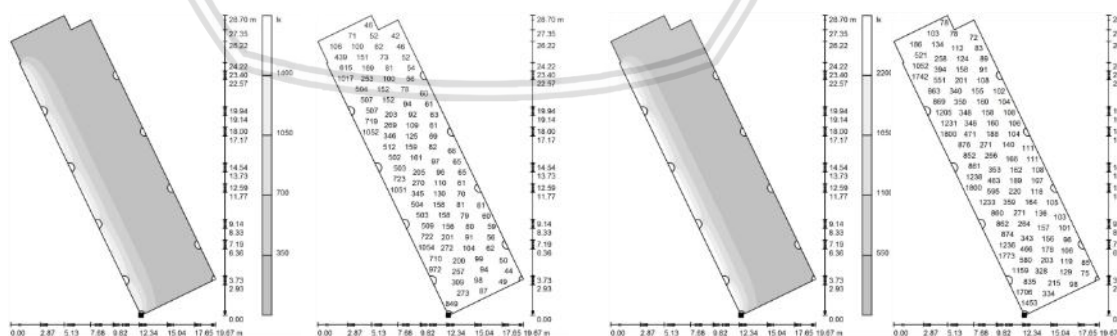
21 Juni

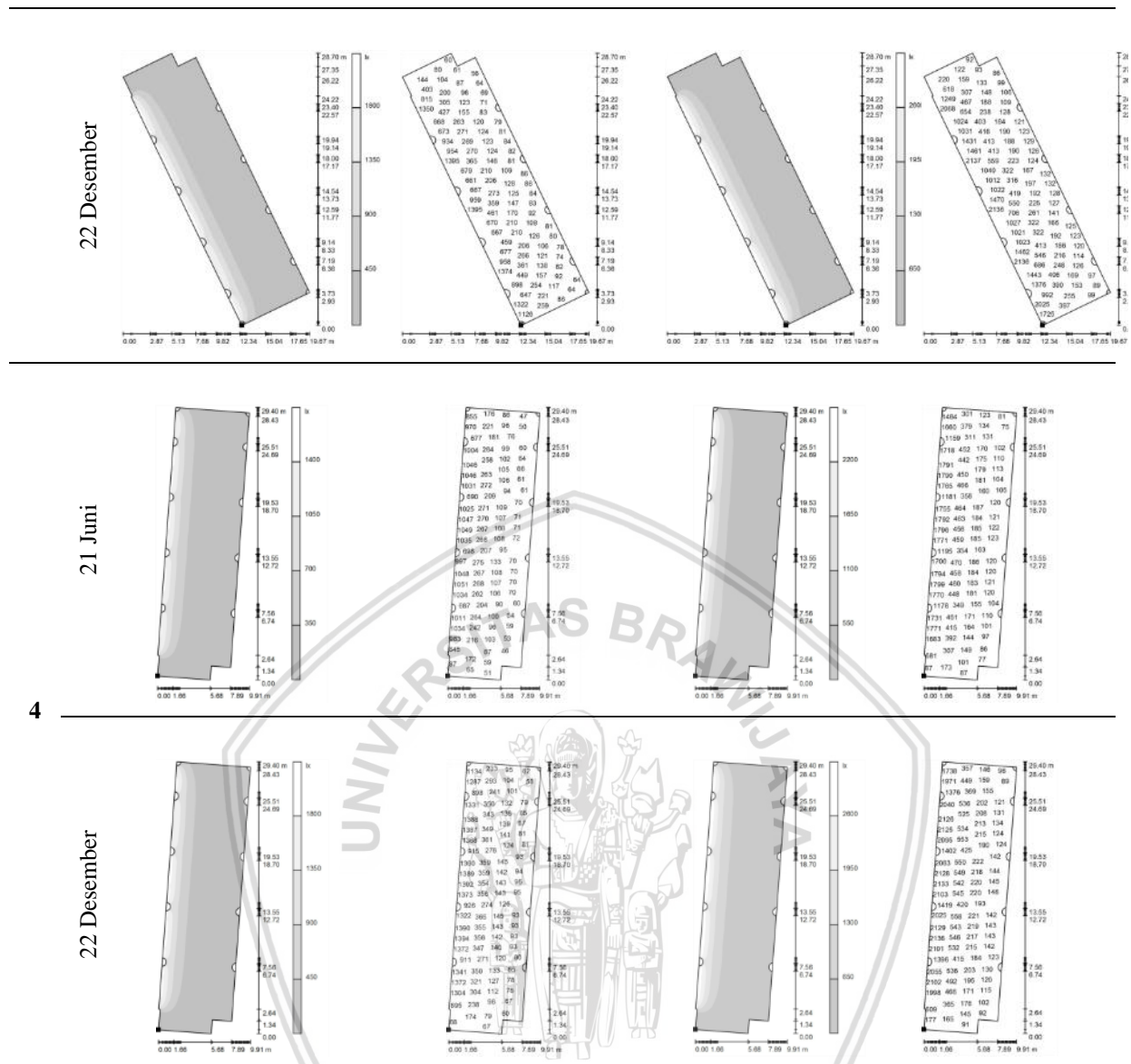


22 Desember



21 Juni





Tabel 4. 17 Hasil kuat terang rata-rata pada sampel bangunan eksisting

Sampel	Waktu	Pukul	Rata-rata kuat terang cahaya (lux)			
			Terluar	Tengah	Terdalam	Tepi Terdalam
1	21 Juni	08.00	405	223	139	108
		16.00	236	118	79	65
	22 Des	08.00	480	260	165	129
		16.00	314	157	106	86
2	21 Juni	08.00	430	201	98	75
		16.00	317	124	73	54
	22 Des	08.00	527	231	126	103
		16.00	346	156	85	65
3	21 Juni	08.00	346	203	92	66
		16.00	861	353	166	111
	22 Des	08.00	667	359	125	86
		16.00	559	238	188	139
4	21 Juni	08.00	690	275	133	70

22 Des	16.00	825	458	184	120
	08.00	926	365	143	93
	16.00	980	545	220	144

#### 4.3.2 Analisis Rekomendasi Arsitektural

Pendekatan dalam rangka memberikan penyelesaian desain secara arsitektural dapat dilakukan dengan pendekatan desain pasif maupun aktif. Pada langkah awal ini akan digunakan desain pasif yang merupakan elemen arsitektural di mana keberadaannya memiliki performa secara pasif terutama dalam hal mengurangi beban alamia yang dibebankan ke bangunan. Penggunaan desain pasif merupakan langkah sederhana yang dapat dilakukan dalam mengurangi beban energi tanpa diperlukan adanya pengeluaran energi dalam operasionalnya. Mengingat sebisa mungkin dalam langkah penghematan ini tidak dibutuhkan usaha yang besar. Karena usaha yang besar akan membutuhkan energi serta investasi yang besar pula.

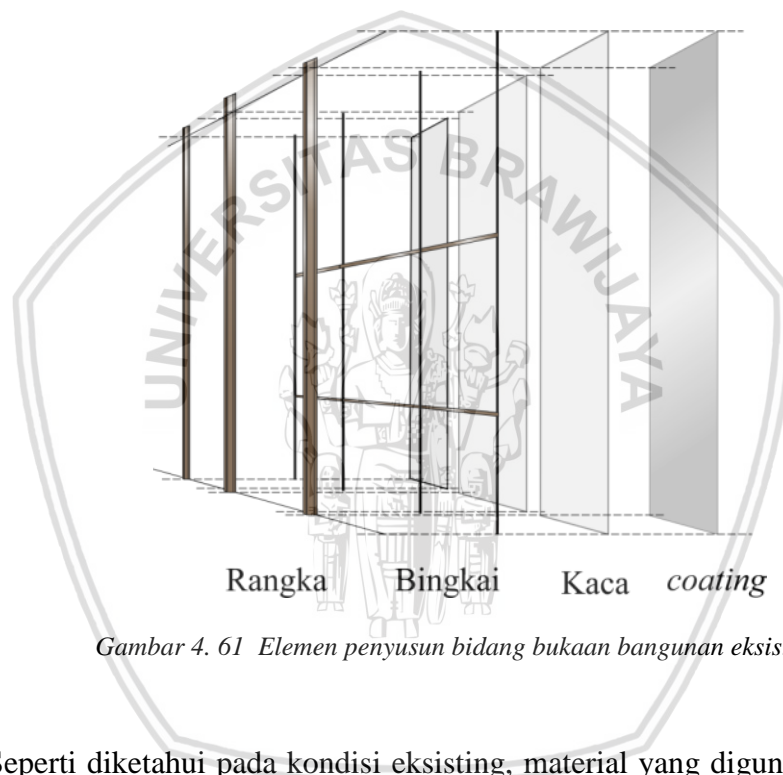
Berdasarkan hasil audit energi rinci pada objek studi, aspek yang menjadi pertimbangan tertinggi adalah pendinginan bangunan. Dalam langkah rekomendasi, masukan yang menjadi titik berat adalah pengolahan selubung bangunan. Diharapkan dalam pengolahan ini dapat dihasilkan rekomendasi desain yang memiliki hasil kinerja yang baik dalam menurunkan beban panas sehingga beban penggunaan pendinginan bisa dikurangi. Dalam pengolahan selubung ini dapat dipertimbangkan upaya dalam pengolahan material selubung, kemudian penggunaan media-media untuk menghalau sinar langsung atau menghentikan kontak langsung antara sinar matahari dengan selubung bangunan.

##### 1. Pengolahan Material Selubung Bangunan

Pendekatan dalam mencapai penghematan energi pada sistem pencahayaan dapat dilakukan dengan memaksimalkan penggunaan cahaya alami sebagai sumber penerangan utama. Sebisa mungkin pencahayaan di siang hari hanya mengandalkan terang cahaya alam seperti pada kasus studi bangunan LEO maupun ZEO. Dengan demikian penggunaan penerangan buatan dapat diminimalkan. Selain itu, persebaran serta kuat terang cahaya harus bisa memenuhi kualitas terang yang seharusnya. Pada sistem pendinginan, pendekatan penghematan dapat dilakukan dengan meminimalkan beban panas yang diterima oleh bidang bukaan maupun panas yang diradiasikan ke ruang dalam. Sebisa mungkin bidang bukaan memiliki sifat penghantaran panas yang

selektif terhadap masuknya sinar ke dalam bangunan. Dengan demikian beban pendinginan yang digunakan dalam bangunan mampu diturunkan.

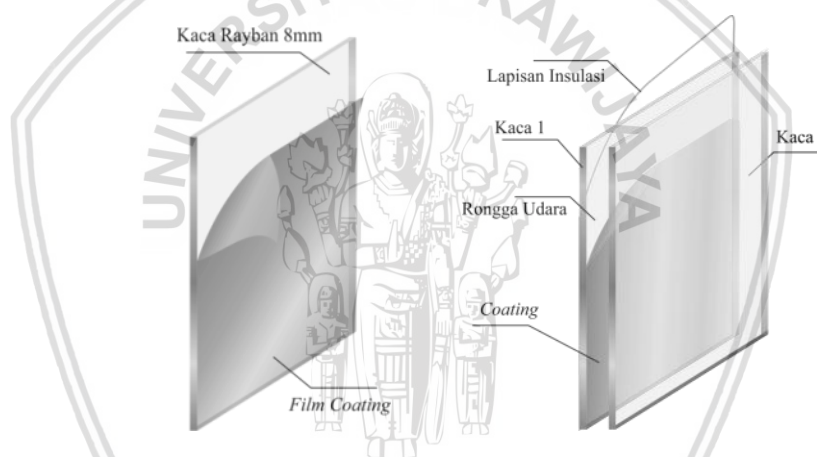
Langkah awal yang paling mudah dilakukan pada bidang bukaan adalah dengan pengelolaan material transparan atau *glazing*. Mengganti secara keseluruhan selubung bukaan baik rangka, bingkai serta kaca merupakan langkah yang menghabiskan banyak biaya. Langkah yang lebih memperkecil biaya adalah penggantian kaca tanpa merubah struktur rangka eksisting. Adapaun langkah yang lebih hemat lagi adalah dengan mengganti lapisan *coating* pada kaca yang ada.



Gambar 4. 61 Elemen penyusun bidang bukaan bangunan eksisting

Seperti diketahui pada kondisi eksisting, material yang digunakan sebagai selubung transparan adalah kaca rayban dengan sistem *single glazing* berlapis *coating* film. Pengolahan *glazing* dengan penggunaan film gelap sebagai filter sinar matahari memiliki kuat hantar panas mencapai 64% serta kemampuan meneruskan cahaya sebesar 37%. Sistem *single glazing* memiliki karakteristik menghantarkan panas secara langsung ke dalam dan bersifat lemah dalam menahan panas. Dalam logika sederhana dapat dikatakan bahwa yang memisahkan ruang luar dan ruang dalam hanyalah satu lapis kaca. Panas yang diterima akan langsung dihantarkan masuk ke udara ruang dalam tanpa adanya perantara yang mampu meredam.

Teknologi *glazing* yang memiliki kemampuan lebih unggul dibandingkan sistem *single glazing* adalah *double glazing* seperti yang banyak digunakan pada beberapa bangunan komersil saat ini. Sistem ini memiliki karakteristik lebih mampu meredam panas sehingga panas tidak sepenuhnya diteruskan ke dalam bangunan. Penggunaan *double glazing* juga diterapkan pada kasus studi LEO maupun ZEO sebagai salah satu langkah penghematan pasif dalam mengolah selubung bukaan bangunan. Langkah ini patut dipertimbangkan untuk diterapkan pada objek studi dengan menggunakan bingkai yang ada dengan modifikasi penambahan kaca. Ruang udara antar panel kaca memberikan peran yang penting dalam mengurangi intensitas panas langsung, sehingga antara ruang luar dan ruang dalam tidak hanya dibatasi oleh satu panel melainkan satu sistem peredam panas.



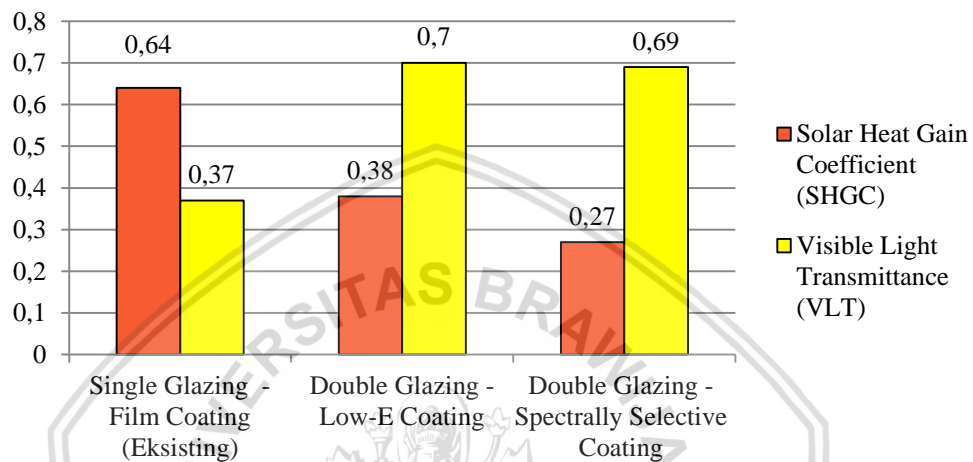
Gambar 4. 62 Perbandingan antara *single glazing* pada eksisting dan *double glazing*

Bagian yang paling penting pada sistem *glazing* adalah *coating* atau lapisan pelindung yang memiliki peran melakukan seleksi terhadap jenis gelombang sinar matahari yang diterima bangunan. Beberapa teknologi *coating* pada kaca yang digunakan pada bangunan kini semakin beragam dengan berbagai keunggulan. Terutama dalam hal meneruskan sinar cahaya tampak (*visible light*) dan menghalau sinar infra merah serta ultra violet yang menimbulkan panas dalam bangunan. Sejatinnya, sinar yang dibutuhkan dalam penerangan dalam bangunan hanya sinar tampak yang terkandung sebanyak 44% dari keseluruhan sinar yang dipancarkan matahari.

Teknologi *coating* kini semakin ditingkatkan dan telah banyak diproduksi sebagai produk dagang untuk kemajuan teknologi bangunan tinggi. Jenis *coating*

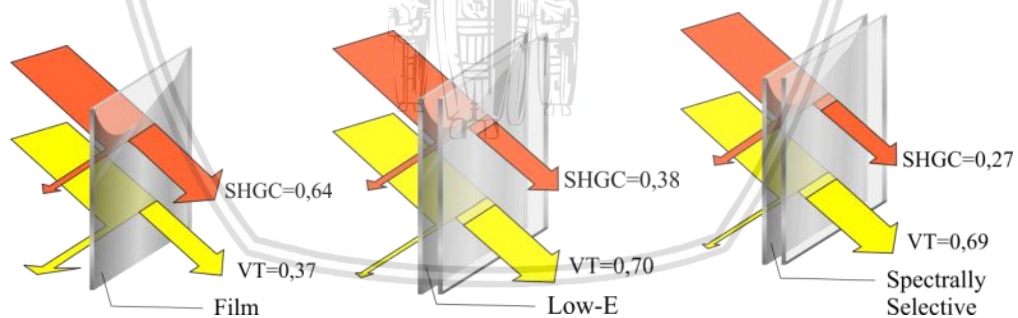


yang saat ini banyak digunakan pada bangunan-bangunan tinggi untuk menghemat energi adalah Low-E coating dan Spectrally Selective coating. Kedua jenis ini memiliki keunggulan dalam menyeleksi gelombang sinar yang masuk ke dalam bangunan. Keutamaan dari kedua *coating* tersebut yakni kemampuan menghalau gelombang sinar infra merah dan sinar UV sehingga mengurangi panas serta meneruskan gelombang sinar tampak secara maksimal.



Gambar 4. 63 Perbandingan pengolahan glazing dan coating

Sumber :



Gambar 4. 64 Ilustrasi kinerja seleksi sinar yang terjadi pada coating film (eksisting), Low-E, dan Spectrally

Coating Low-E maupun Spectrally Selective patut dipertimbangkan sebagai media pelapis kaca dalam langkah pengolahan ini. Low-E coating mampu menekan tingkat panas 40,6% dari kemampuan eksisting serta mampu memasukan 1,9 kali lipat kuat terang yang diteruskan oleh kaca eksisting. Sedangkan pada coating Spectrally Selective, tingkat panas mampu ditekan

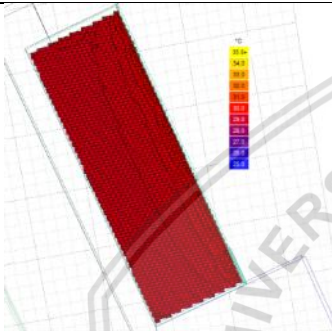

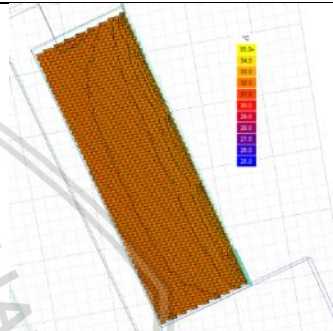
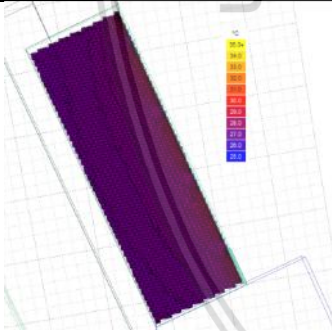
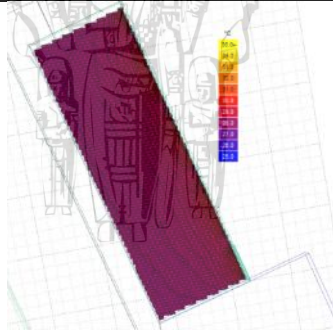
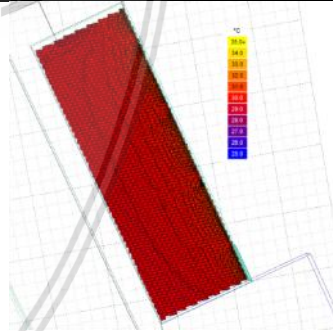
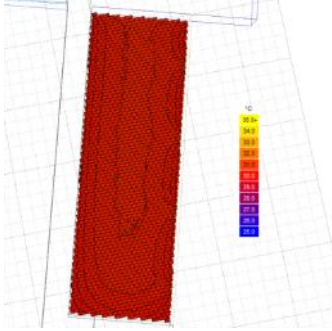
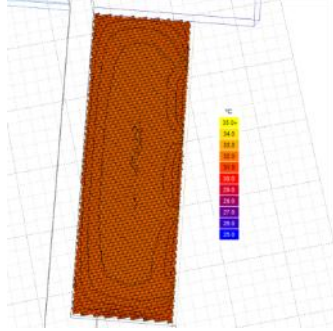
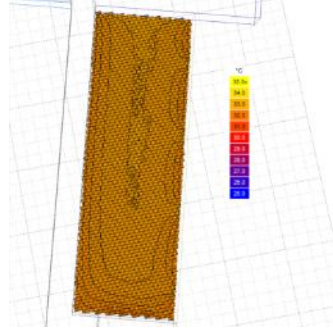
sebesar 57,8% serta mampu meneruskan cahaya sebanyak 1,9 lipat dari cahaya yang diteruskan oleh kaca eksisting.

Tabel 4. 18 Visualisasi sampel dengan penggunaan penggantian coating rekomendasi

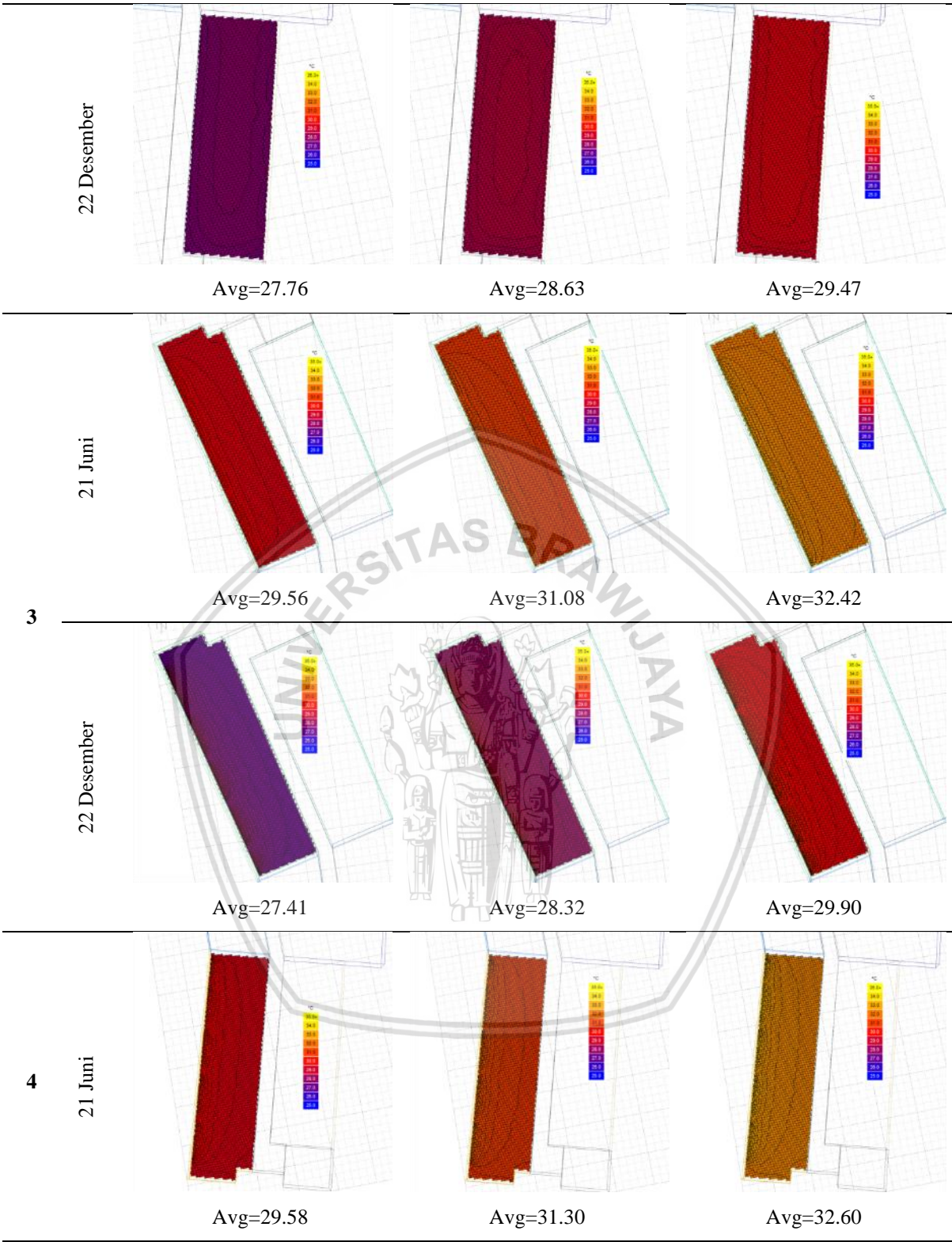
Sampel	Ilustrasi		Visualisasi
	Low-E	Spectrally	
1	<p>SHGC=0,38;VT=0,70</p>	<p>SHGC=0,27;VT=0,69</p>	
2	<p>SHGC=0,38;VT=0,70</p>	<p>SHGC=0,27;VT=0,69</p>	
3	<p>SHGC=0,38;VT=0,70</p>	<p>SHGC=0,27;VT=0,69</p>	
4	<p>SHGC=0,38;VT=0,70</p>	<p>SHGC=0,27;VT=0,69</p>	

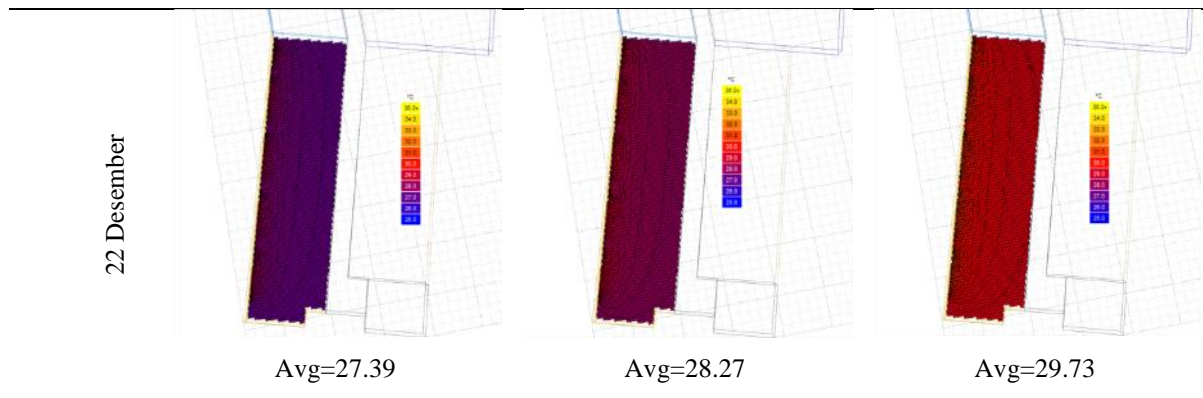
Dalam menentukan pilihan yang terbaik serta seberapa besar tingkat keberhasilan kinerja untuk penggunaan pilihan material pada objek studi, maka dilakukan simulasi tingkat temperatur pada ruang-ruang sample. Adapun hasil renderasi simulasi disajikan pada tabel berikut

Tabel 4. 19 Hasil renderasi simulasi suhu median (MRT) pada penggunaan coating Low-E

Sampel	Waktu	08.00	12.00	16.00
1	21 juni	 Avg=29.55	 Avg=31.03	 Avg=32.38
	22 Desember	 Avg=27.46	 Avg=28.25	 Avg=29.90
2	21 Juni	 Avg=30.40	 Avg=31.75	 Avg=32.78

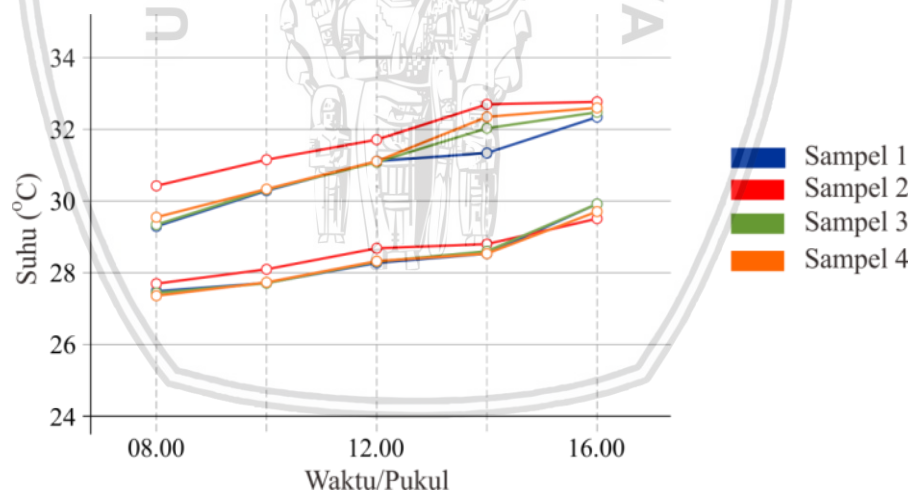






Tabel 4. 20 Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel menggunakan material coating Low-E

Sampel	Waktu	Suhu (°C)		
		08.00	12.00	16.00
1	22 Juni	29.55	31.03	32.38
	22 Desember	27.46	28.25	29.90
2	22 Juni	30.40	31.75	32.78
	22 Desember	27.76	28.63	29.47
3	22 Juni	29.56	31.08	32.42
	22 Desember	27.41	28.32	29.90
4	22 Juni	29.58	31.10	32.60
	22 Desember	27.39	28.27	29.73

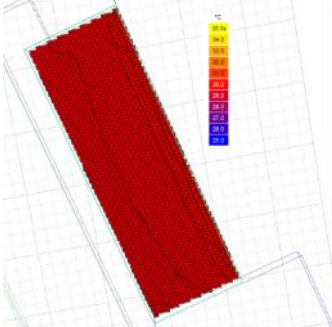
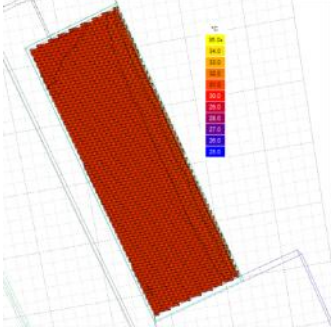
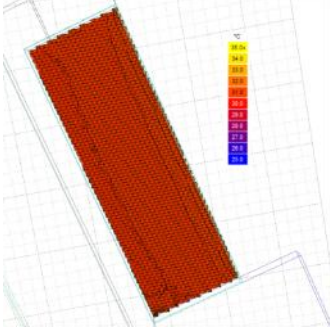
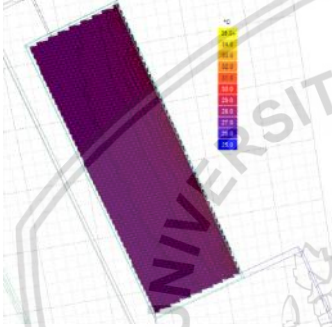
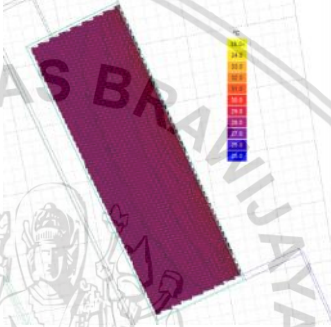
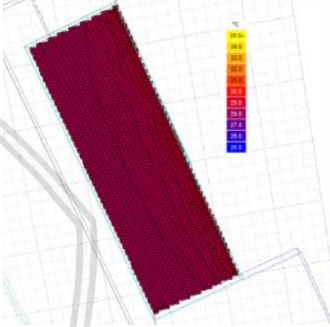
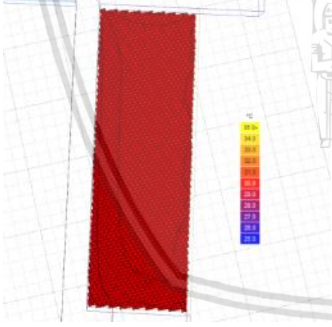
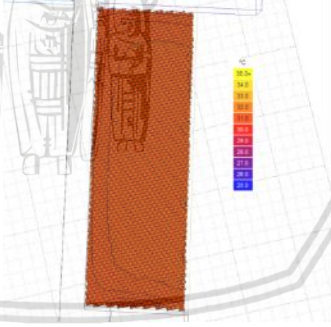
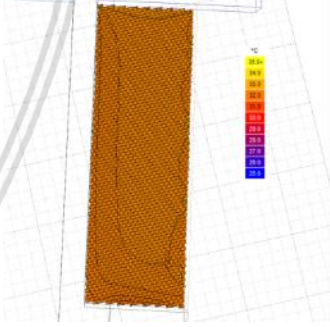
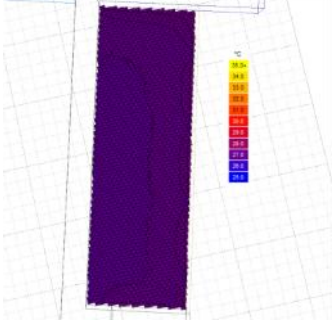
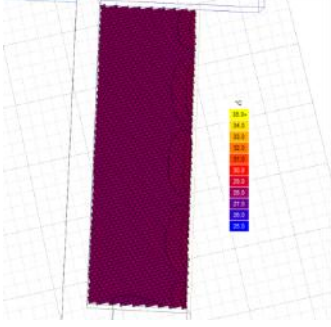
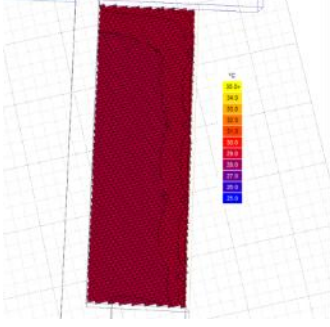


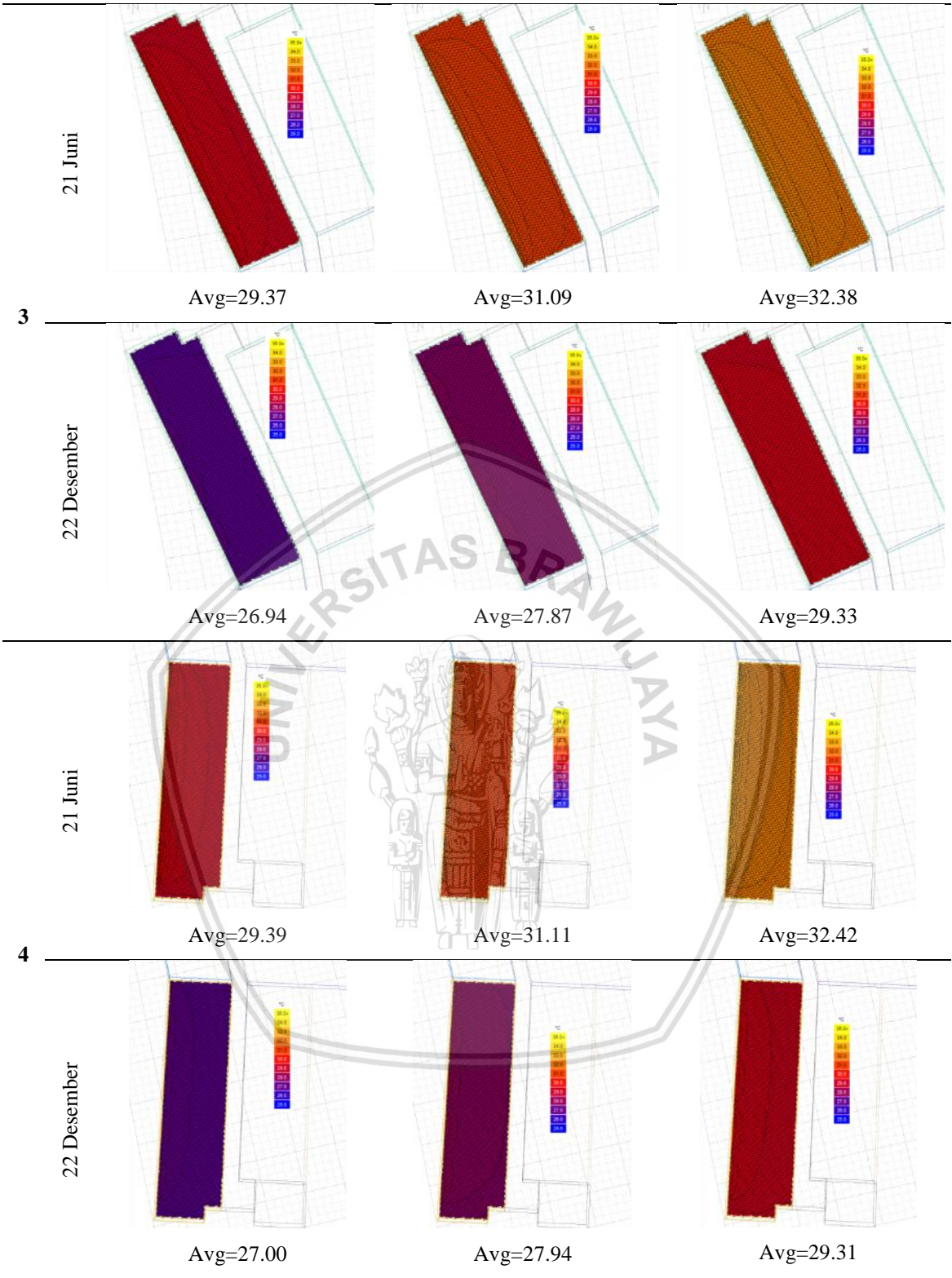
Gambar 4. 65 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan material coating Low-E

Pada simulasi rekomendasi dengan penggunaan material *double glazing* dengan *coating* Spectrally selective dihasilkan data sebagai berikut



Tabel 4. 21 Hasil renderasi simulasi suhu median (MRT) pada material coating Spectrally

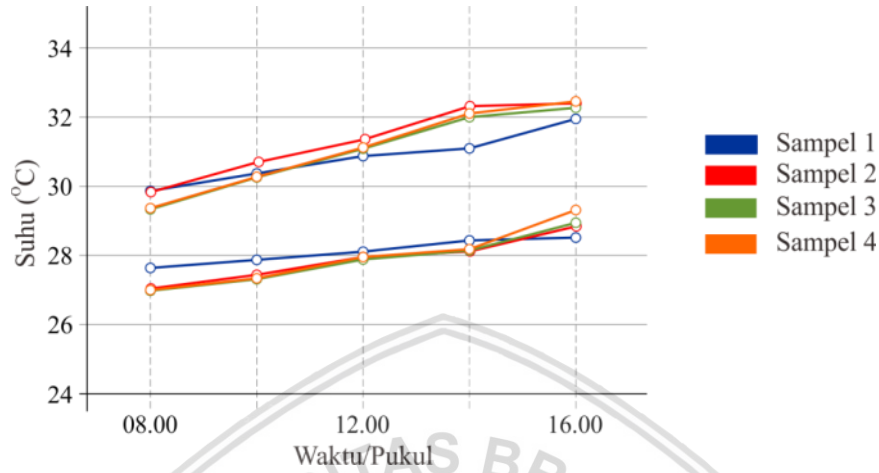
Sampel	Waktu	08.00	12.00	16.00
1	21 juni	 Avg=29.85	 Avg=30.87	 Avg=30.97
	22 Desember	 Avg=27.62	 Avg=28.12	 Avg=28.50
2	21 Juni	 Avg=29.81	 Avg=31.39	 Avg=32.39
	22 Desember	 Avg=27.04	 Avg=27.97	 Avg=28.81



Tabel 4. 22 Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel menggunakan material coating Spectrally

Sampel	Waktu	Suhu (°C)		
		08.00	12.00	16.00
1	22 Juni	29.85	30.87	30.97
	22 Desember	27.62	28.12	28.50
2	22 Juni	29.81	31.39	32.39

3	22 Desember	27.04	27.97	28.81
	22 Juni	29.37	31.09	32.28
4	22 Desember	26.94	27.87	29.33
	22 Juni	29.39	31.11	32.42
	22 Desember	27.00	27.94	29.31



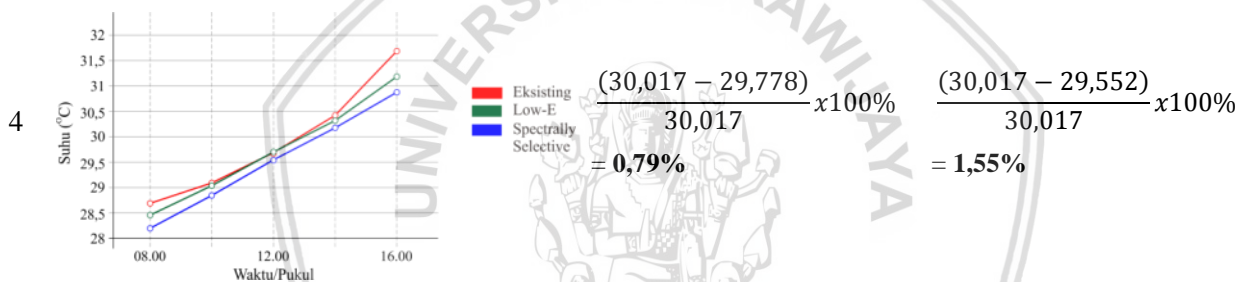
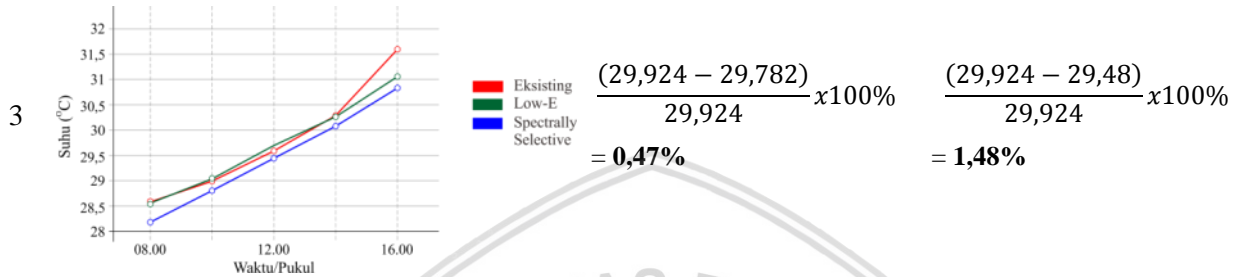
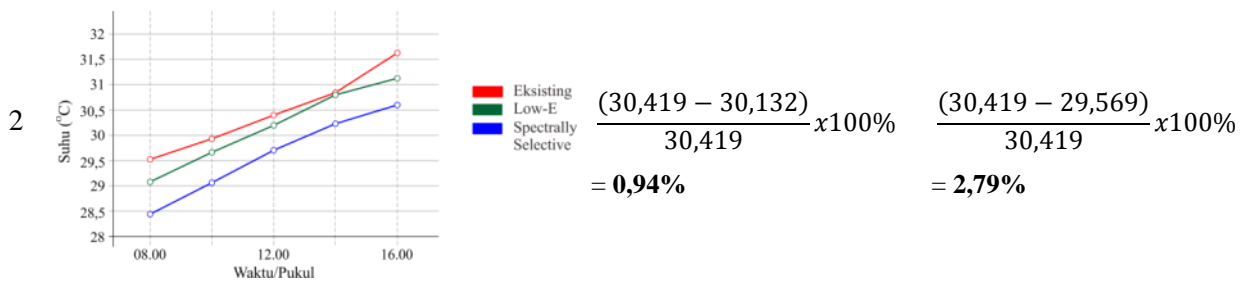
Gambar 4. 66 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan material coating Spectrally selective

Dari data tersebut dapat diketahui hasil masing-masing pilihan alternatif dalam pengolahan selubung bangunan. Dalam mengetahui kinerja masing-masing selanjutnya dibandingkan nilai efisiensi dari kinerja penggunaan material dengan menghitung angka rata-rata yang didapat dari hasil simulasi. Adapun perbandingan tersebut ditabulasikan sebagai berikut

Tabel 4. 23 Perhitungan efisiensi performa penggunaan alternatif material

Sampel	Grafik Perbandingan Suhu Rata-Rata	Koefisien Performa Penggunaan Alternatif Material																									
		Low-E	Spectrally Selective																								
1	<table border="1"><caption>Data for Grafik Perbandingan Suhu Rata-Rata (Sampel 1)</caption><thead><tr><th>Waktu/Pukul</th><th>Eksisting (°C)</th><th>Low-E (°C)</th><th>Spectrally Selective (°C)</th></tr></thead><tbody><tr><td>08.00</td><td>28.8</td><td>28.5</td><td>28.8</td></tr><tr><td>10.00</td><td>29.5</td><td>29.2</td><td>29.0</td></tr><tr><td>12.00</td><td>30.2</td><td>29.8</td><td>29.5</td></tr><tr><td>14.00</td><td>31.0</td><td>30.5</td><td>29.8</td></tr><tr><td>16.00</td><td>31.5</td><td>31.2</td><td>30.0</td></tr></tbody></table>	Waktu/Pukul	Eksisting (°C)	Low-E (°C)	Spectrally Selective (°C)	08.00	28.8	28.5	28.8	10.00	29.5	29.2	29.0	12.00	30.2	29.8	29.5	14.00	31.0	30.5	29.8	16.00	31.5	31.2	30.0	$\frac{(29,942 - 29,762)}{29,942} \times 100\% = 0,6\%$	$\frac{(29,942 - 29,322)}{29,942} \times 100\% = 2,07\%$
Waktu/Pukul	Eksisting (°C)	Low-E (°C)	Spectrally Selective (°C)																								
08.00	28.8	28.5	28.8																								
10.00	29.5	29.2	29.0																								
12.00	30.2	29.8	29.5																								
14.00	31.0	30.5	29.8																								
16.00	31.5	31.2	30.0																								





Dari hasil perbandingan yang dilakukan, dapat diketahui bahwa pilihan pengolahan material selubung dengan hasil kinerja yang baik ditunjukkan pada penggunaan sistem *double glazing* dengan *coating* Spectrally Selective yang mampu memberikan efisiensi penurunan rata-rata mencapai 1,972%. Langkah selanjutnya yakni pertimbangan pengolahan selubung dengan menerapkan media pembayangan untuk menghalau sinar yang mengenai selubung bangunan.

## 2. Media Bayang (*Shading Device*)

Menghalau sinar langsung yang diterima oleh bangunan dapat dipertimbangkan guna mengurangi kontak langsung sinar matahari dengan media selubung bangunan. Sekalipun media transparan dengan pelapis film mampu sedikit mengurangi intensitas panas yang masuk, akan tetapi sinar yang masuk mengenai pengguna didalamnya akan menimbulkan rasa kurang nyaman secara visual apabila pengguna tersebut melihat ke arah luar. Seyogyanya, pengguna merasakan nyaman saat melihat bukaan karena pengguna perlu

mendapatkan pemandangan dari bukaan untuk menunjang kegiatan kerja. Langkah sederhana yang bisa diambil adalah dengan membayangi selubung bangunan sehingga cerlang yang masuk maupun panas yang diterima secara langsung dapat diminimalisir.

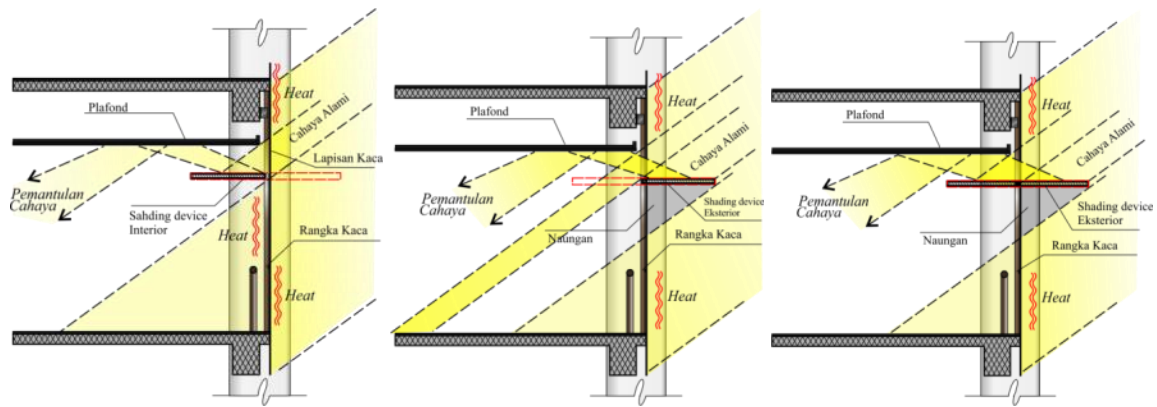
Pola umum dalam menggunakan media bayang biasanya menggunakan media papan atau panel yang dipasang dengan posisi horizontal maupun vertikal, namun pada perkembangannya telah banyak dikembangkan berbagai pola media bayang yang mampu menyesuaikan dengan kebutuhan pembayangan berdasarkan kriteria yang dipertimbangkan. Secara peletakkan, media bayang dapat diletakkan pada sisi dalam bukaan bangunan (internal), sisi luar bukaan bangunan (eksternal), serta gabungan antara sisi dalam dan sisi luar bangunan.

Peletakkan media bayang internal mampu membayangi area dalam bangunan dari sinar yang masuk ke dalam bangunan serta mampu memantulkan sinar yang diterima untuk membantu meningkatkan penerangan dalam ruang (*Light Shelf*). Namun, peletakkan ini tidak mampu menghalau sinar mengenai selubung utama bangunan sehingga material selubung masih menanggung beban panas dan meradiasikannya ke ruang dalam.

Peletakkan media bayang eksternal mampu membayangi area dalam bangunan serta mampu menghalau sinar yang jatuh mengenai permukaan selubung bangunan sehingga material selubung tidak menanggung beban panas dari sinar matahari langsung. Penggunaan media dengan material yang reflektif juga mampu memantulkan cahaya ke dalam ruang sebagai penguat penerangan apabila diteruskan dengan media transparan.

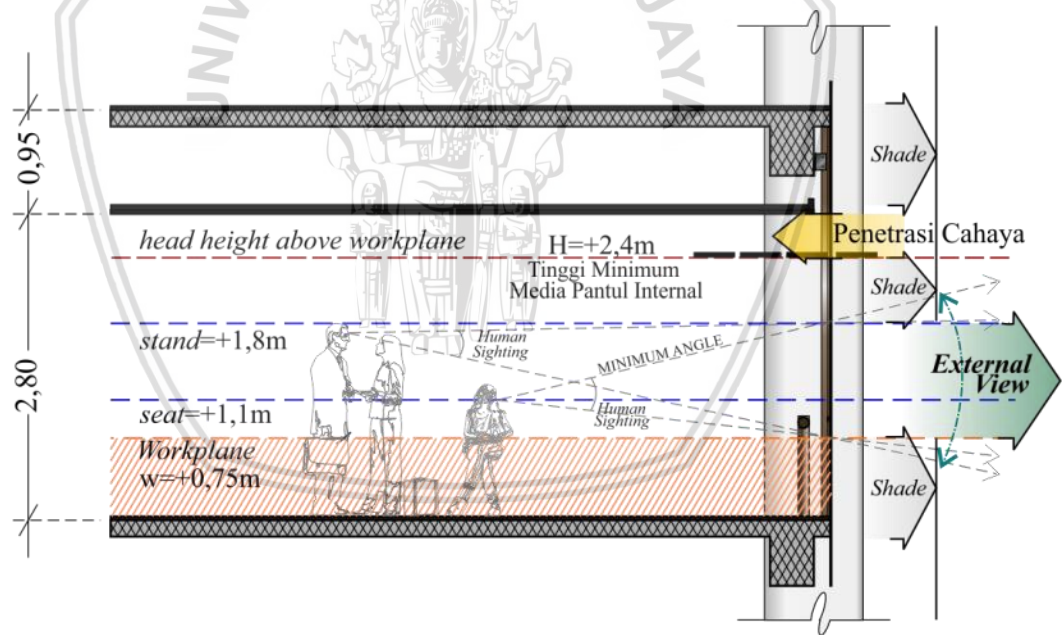
Adapun peletakkan media bayang kombinasi mampu memberikan pembayangan area dalam bangunan sekaligus permukaan selubung bangunan. Bahan media bayang yang reflektif juga mampu menjadi media penguat penerangan (*Light Shelf*) baik dari cahaya luar maupun cahaya yang diterima di dalam bangunan melalui media transparan. Dari berbagai peletakkan tersebut, peletakkan kombinasi dapat dijadikan sebagai peletakkan terbaik dalam alternatif ini.





Gambar 4. 67 Perbandingan ilustrasi pengolahan media bayang internal, eksternal, dan gabungan

Dalam menyesuaikan peletakkan media bayang terhadap kondisi objek studi perlu dipertimbangkan kebutuhan pengguna ruang terkait fungsi utama bukaan yang memberikan akses visual dari dalam ke luar bangunan serta komposisi dan ketinggian yang direkomendasikan.



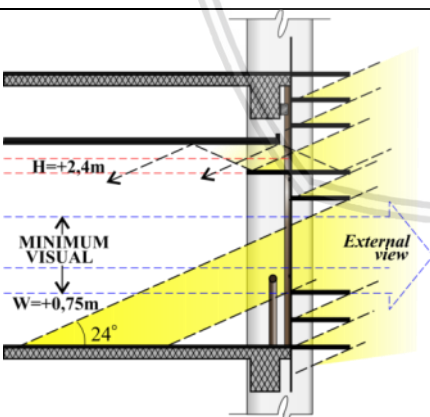
Gambar 4. 68 Analisis pertimbangan proporsi pembayangan, penerusan cahaya, serta penerusan visual terhadap selubung bangunan utama bangunan berdasarkan keteraturan ketinggian

Berdasarkan pertimbangan ketinggian ruang yang direkomendasikan, dihasilkan komposisi peletakkan seperti pada gambar di atas. Dari ilustrasi analisis pertimbangan tersebut dapat diketahui bahwa media bayang dapat diletakkan pada ketinggian 0,00-0,75 meter, 1,80-2,40 meter, dan 2,80-3,75

meter. Secara rinci peletakkan media bayang akan disesuaikan berdasarkan karakteristik serta sudut sinar yang datang pada masing-masing sampel. Pada ketinggian 0,75-1,80 meter digunakan sebagai media alir viusal sehingga sebisa mungkin pada ruas ini tidak terdapat media yang menghalangi pandangan keluar. Sedangkan pada ketinggian 2,40-2,80 meter digunakan sebagai ketinggian peletakkan media bayang internal (*Light Shelf*). Pada ruas ini sinar diakumulasi untuk dipantulkan.

Pada alternatif pertama penggunaan media bayang, digunakan jenis overhang horizontal yang dipasang pada sisi luar selubung bangunan dengan kombinasi overhang horizontal internal. Panjang ukuran overhang ini baiknya tidak terlalu pendek sehingga mampu menanungi dengan baik serta tidak terlalu panjang untuk mempermudah pemasangan. Dalam hal ini dipilih 3 pilihan ukuran panjang media bayang seperti yang ada pada pasaran yakni 80cm, 90cm, dan 100cm. Untuk mengetahui hasil terbaik terhadap sudut jatuh sinar pada masing-masing sampel dilakukan ilustrasi pembayang seperti berikut.

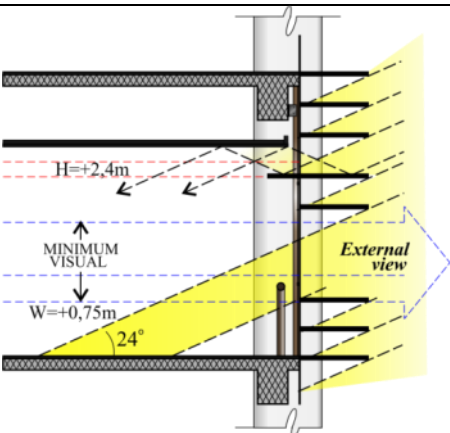
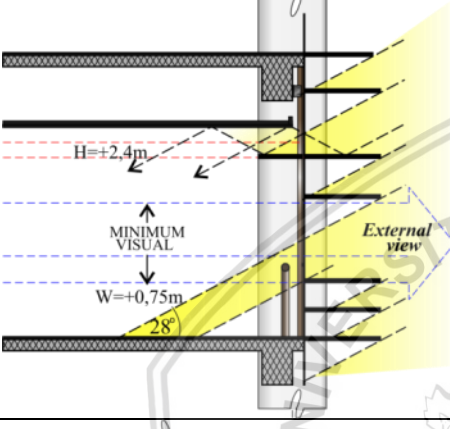
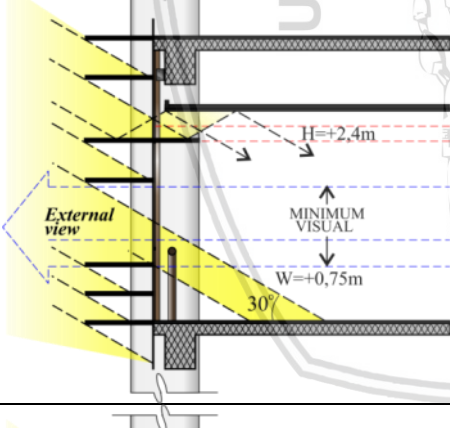
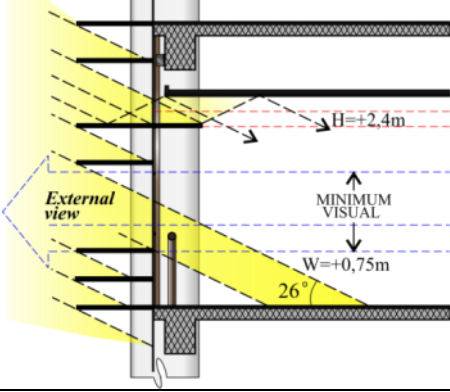
Tabel 4. 24 Besaran proporsi penggunaan shading device 80 cm

Sampel	Ilustrasi	Jumlah Shading Device	Proporsi Terbayangi	Proporsi Tak Terbayangi	Proporsi Visual	Proporsi <i>Light Shelf Tunnel</i>	Panjang Media Pantul internal
1		7	70%	30%	33%	15,7%	60 cm

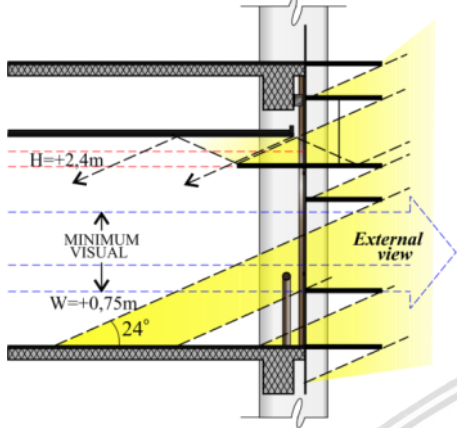
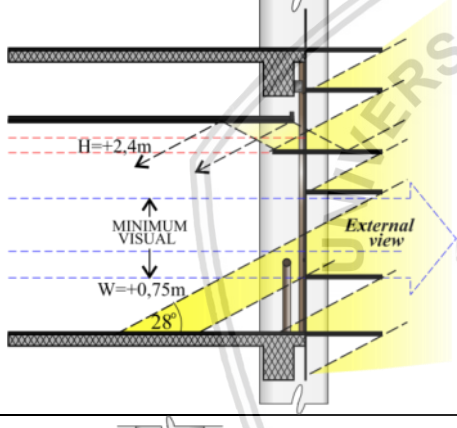
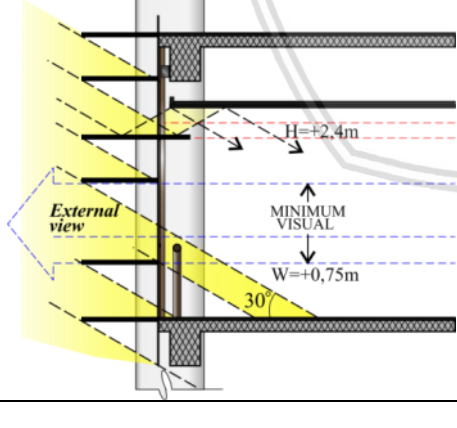
2		7	80,3%	19,7%	31,2%	11,7%	-
3		7	82%	18%	30%	9,6%	-
4		7	76%	24%	32%	12.8%	40 cm

Tabel 4. 25 Besaran proporsi penggunaan shading gevice 90 cm

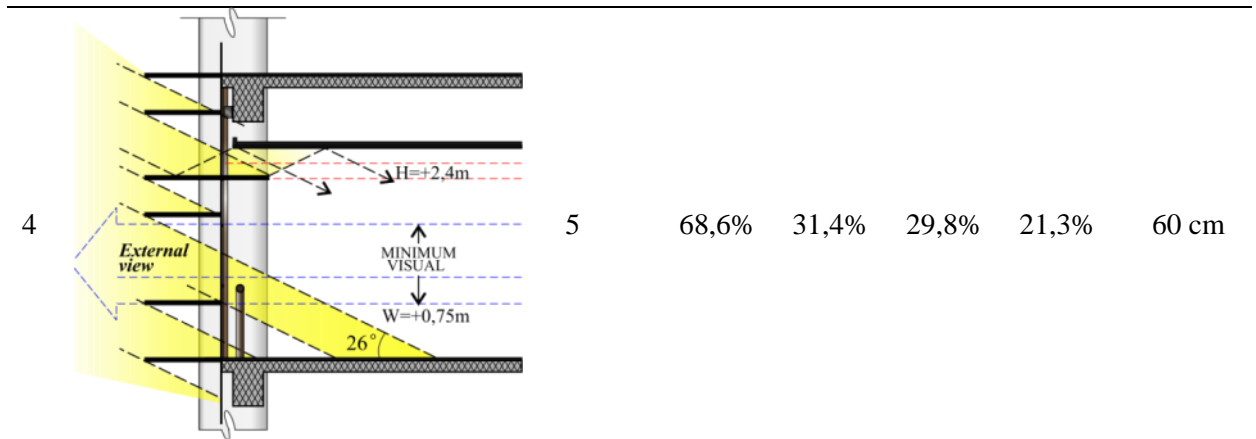
Sampel	Ilustrasi	Jumlah Shading Device	Proporsi Terbaya ngi	Proporsi Tak Terbaya ngi	Proporsi Visual	Proporsi Light Shelf Tunnel	Panjan g Media Pantul Intern al
--------	-----------	-----------------------	----------------------	--------------------------	-----------------	-----------------------------	---------------------------------

	7	77%	23%	31,6%	13,3%	40 cm
	6	78,5%	21,5%	26,7%	21,7%	60 cm
	6	78,4%	21,6%	26,7%	20,8%	60 cm
	6	74,4%	25,6%	29%	21,3%	60 cm

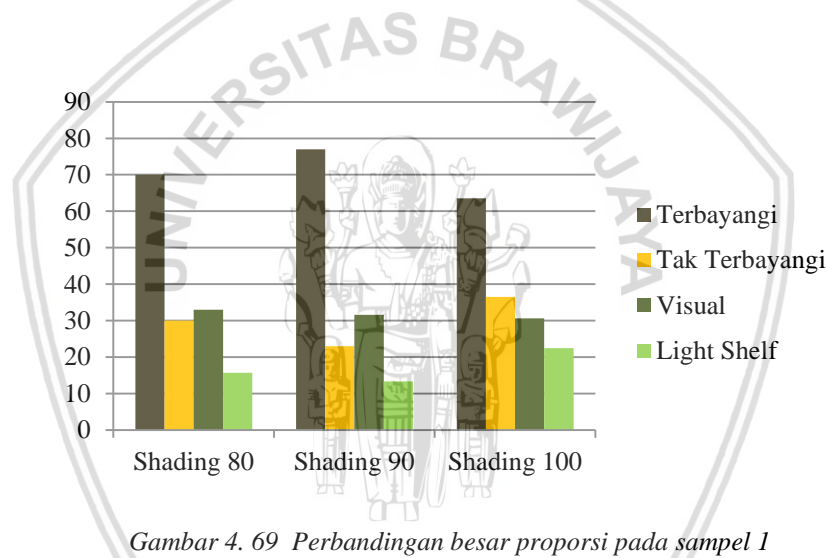
Tabel 4. 26 Besaran proporsi penggunaan shading device 100 cm

Sampel	Ilustrasi	Jumlah Shading Device	Proporsi Terbayangi	Proporsi Tak terbayangi	Proporsi Visual	Proporsi Light Shelf Tunnel	Panjang Media Pantul Internal
1		5	63,5%	36,5%	30,6%	22,4%	85 cm
2		5	74,4%	25,6%	26,7%	20,2%	40 cm
3		5	80,8%	19,2%	27,4%	19,2%	40 cm

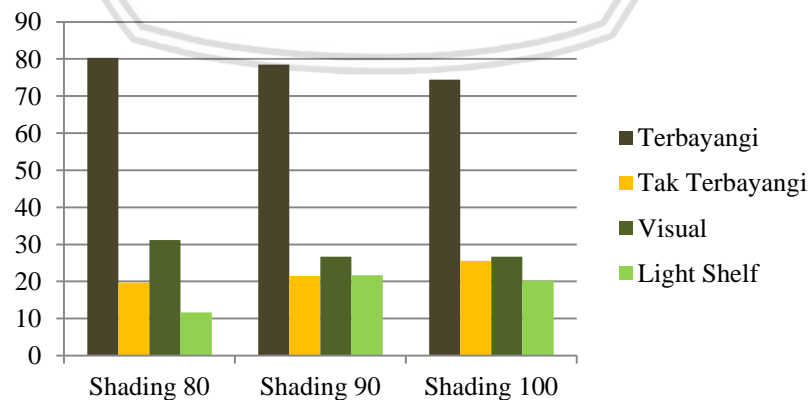




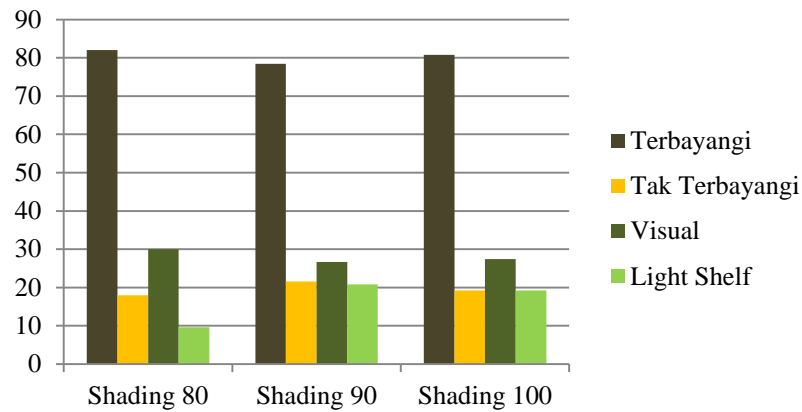
Dari penjabaran ilustrasi serta perhitungan besar proporsi bayang pada penggunaan panjang media 80 cm, 90 cm, dan 100 cm, dapat dibandingkan pada grafik berikut



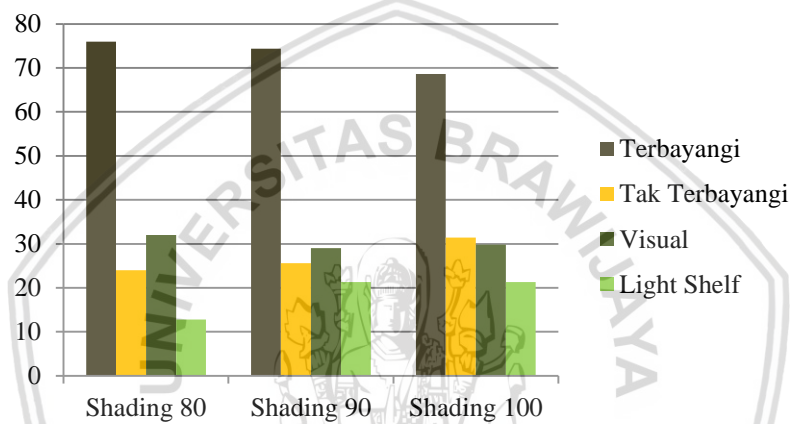
Gambar 4. 69 Perbandingan besar proporsi pada sampel 1



Gambar 4. 70 Perbandingan besar proporsi pada sampel 2



Gambar 4. 71 Perbandingan besar proporsi pada sampel 3



Gambar 4. 72 Perbandingan besar proporsi pada sampel 4

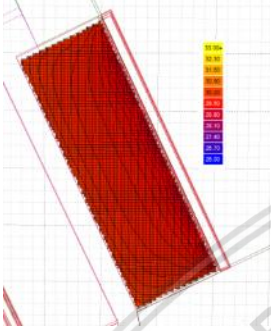
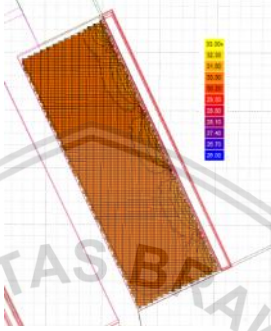
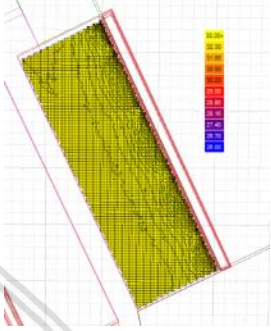
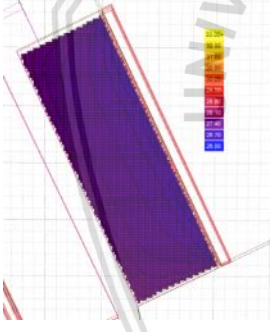
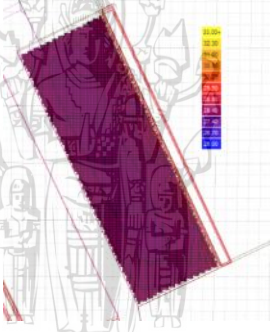
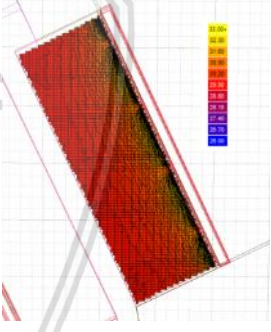
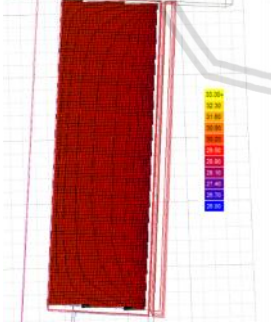
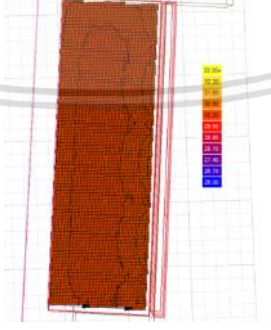
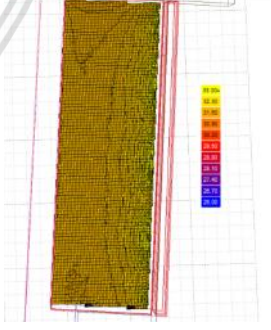
Dari grafik perbandingan di atas, dapat diketahui ukuran overhang horizontal yang terbaik pada masing-masing sampel antara lain; sampel 1 = 90 cm, sampel 2 = 80 cm, sampel 3 = 80 cm, dan sampel 4 = 80 cm. Adapun visualisasi potongan serta kenampakan sampel berdasarkan penggunaan overhang disajikan pada tabel berikut

Tabel 4. 27 Visualisasi sampel dengan penggunaan overhang horizontal

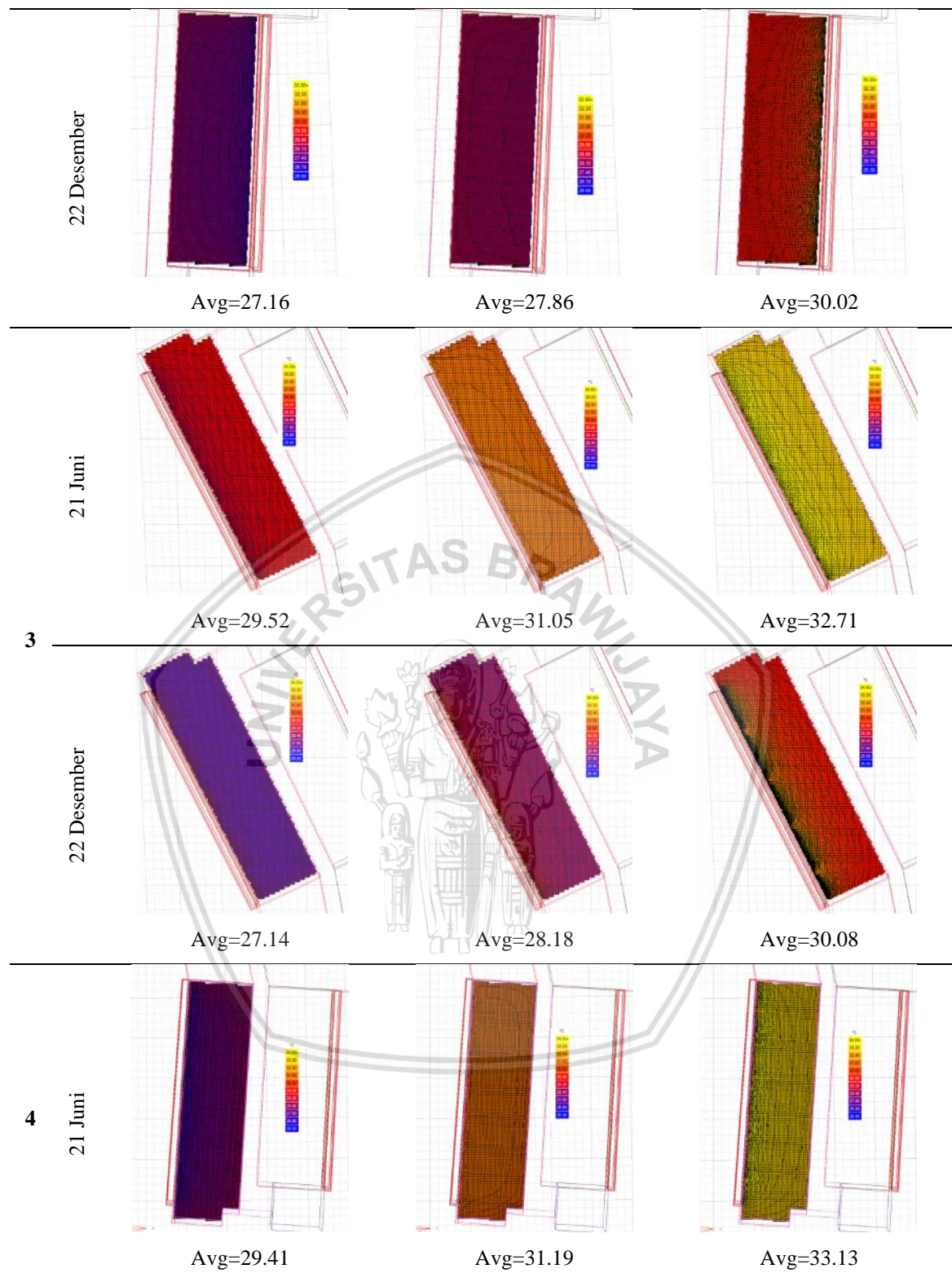
Sampel	Visualisasi
1	
2	
3	
4	

Untuk mengetahui kinerja dari penggunaan overhang horizontal pada masing-masing sampel dilakukan simulasi kenyamanan termal yang terjadi. Adapaun hasil simulasi ditunjukkan pada tabel berikut

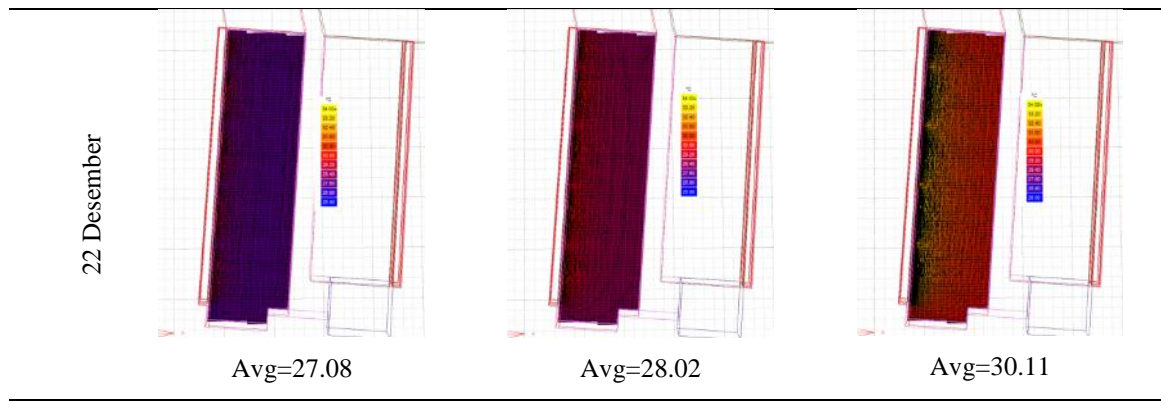
Tabel 4. 28 Hasil renderasi simulasi suhu median (MRT) pada penggunaan overhang horizontal

Sampel Waktu		08.00	12.00	16.00
1	21 juni	 Avg=29.72	 Avg=30.89	 Avg=32.89
	22 Desember	 Avg=27.34	 Avg=28.06	 Avg=30.33
2	21 Juni	 Avg=29.57	 Avg=30.72	 Avg=32.69



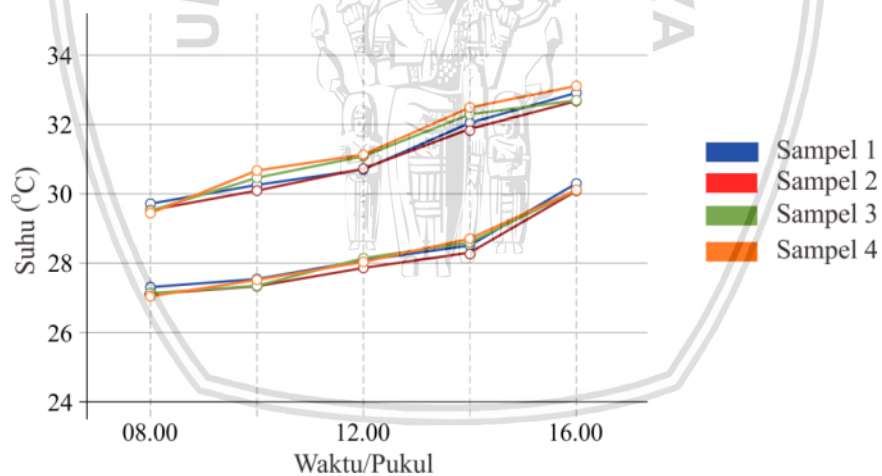






Tabel 4. 29 Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel menggunakan media bayang horizontal

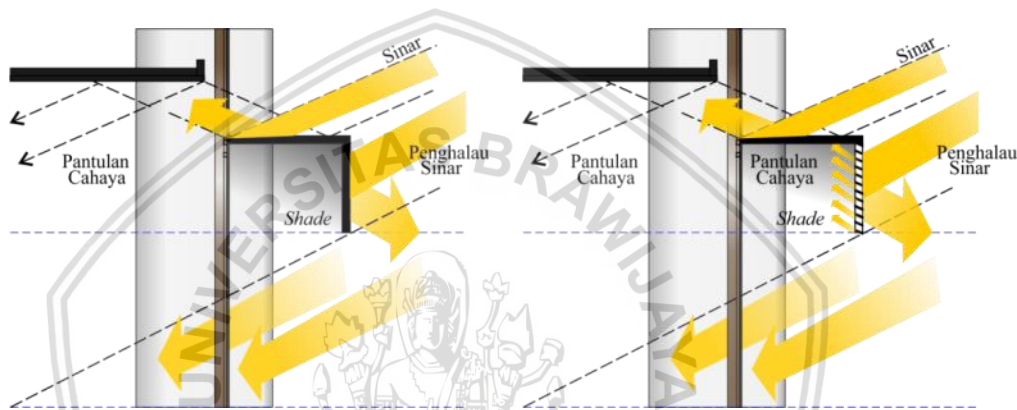
Sampel	Waktu	Suhu (°C)		
		08.00	12.00	16.00
1	22 Juni	29.72	30.89	32.89
	22 Desember	27.34	28.06	30.33
2	22 Juni	29.57	30.72	32.69
	22 Desember	27.16	27.86	30.02
3	22 Juni	29.52	31.05	32.71
	22 Desember	27.14	28.18	30.08
4	22 Juni	29.41	31.19	33.13
	22 Desember	27.08	28.02	30.11



Gambar 4. 73 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan media bayang horizontal

Pilihan alternatif kedua dalam penggunaan media bayang adalah dengan menggunakan overhang horizontal yang dikombinasikan dengan bidang vertikal yang menggantung di ujung overhang. Penggunaan bidang ini mampu mengurangi jumlah penggunaan overhang horizontal yang berlebihan namun tetap memberikan hasil pembayangan yang baik pula.

Media bayang vertikal memiliki berbagai model yang dapat diterapkan. Model yang umum digunakan adalah bidang masif dan bidang bercelah. Bidang masif tentu sangat baik dalam menghalau sinar yang hendak mengenai selubung bangunan, namun model ini juga mampu menghalau cahaya untuk masuk ke dalam ruang dalam. Sedangkan pada bidang bercelah, sinar matahari langsung mampu dihalau dengan baik asalkan sudut celah mampu menyesuaikan dengan sudut jatuh sinar matahari sehingga perlu adanya penyesuaian, di sisi lain, model ini masih bisa memungkinkan adanya pemantulan cahaya untuk diteruskan masuk ke dalam ruang dalam bangunan.



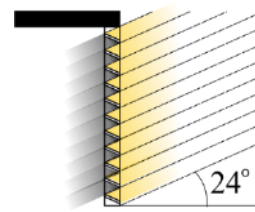
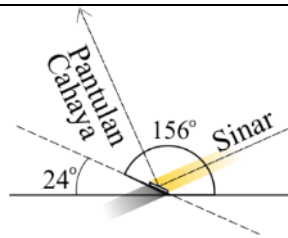
Gambar 4. 74 Perbandingan ilustrasi penggunaan bidang vetikal masif dengan bidang vertikal bercelah

Dari pertimbangan di atas, jenis bidang vertikal yang dianggap memiliki peluang terbaik adalah bidang vertikal bercelah. Adapun secara perletakkan dipertimbangkan sesuai dengan keteraturan ketinggian ruang yang direkomendasikan serta berdasarkan sudut jatuh sinar matahari pada masing-masing sampel. Sedangkan panjang overhang yang digunakan adalah 80 cm menyesuaikan dari ukuran yang dominan digunakan pada alternatif overhang horizontal sebelumnya. Adapun penentuan sudut kemiringan celah pada bidang vertikal diilustrasikan pada tabel berikut

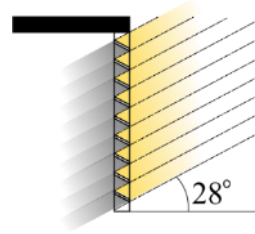
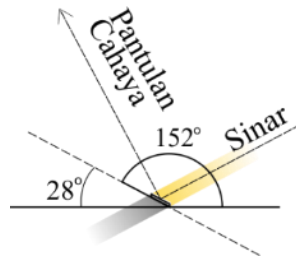
Tabel 4. 30 Sudut bidang celah terhadap sudut jatuh sinar pada masing-masing sampel

Sampel	SBV	Sudut Bidang Celah	Ilustrasi Potongan Bidang
			Horizontal

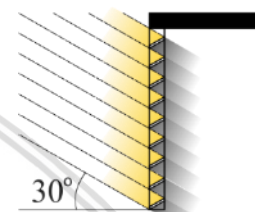
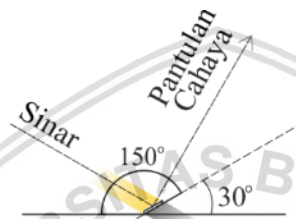
1 24



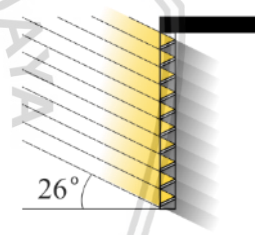
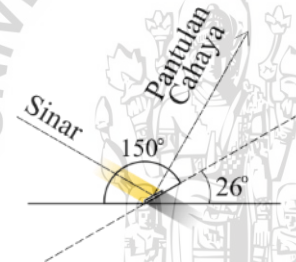
2 28



3 30

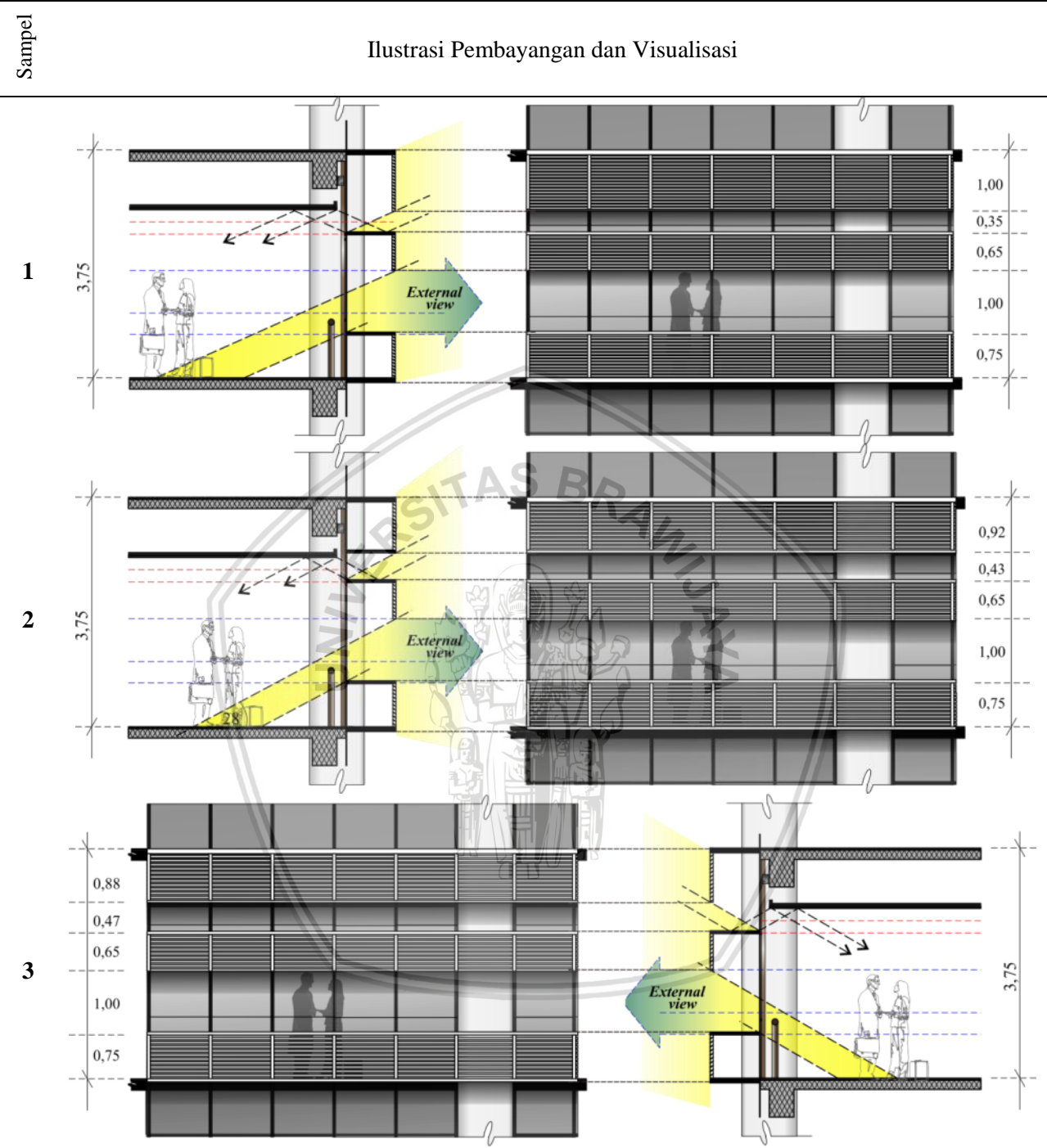


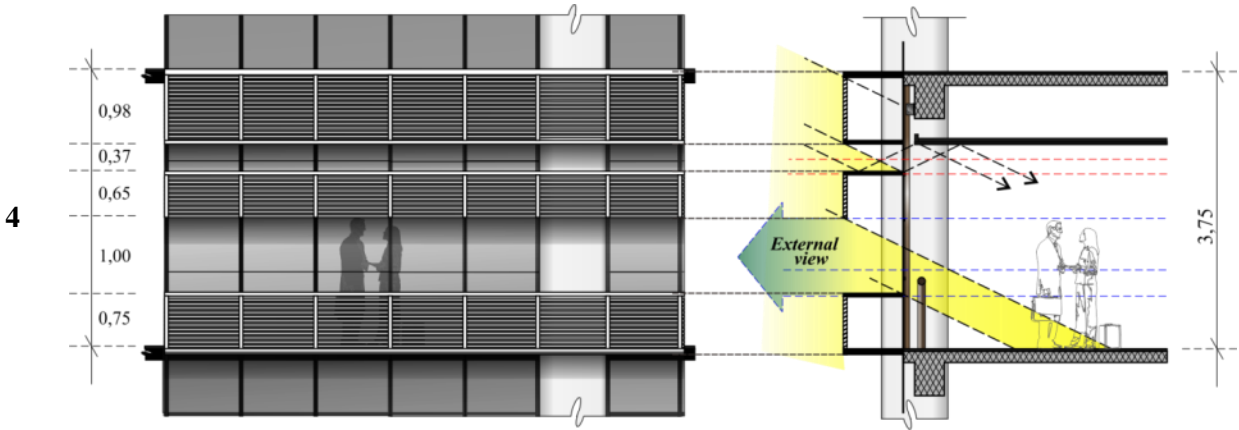
4 26



Dari penentuan sudut celah tersebut, dapat diketahui kemiringan bidang celah pada masing-masing sampel sesuai arah sudut datang sinar pada yakni sampel 1 adalah  $-24^\circ$ , sampel 2 adalah  $-28^\circ$ , sampel 3 adalah  $-30^\circ$ , dan sampel 4 adalah  $-26^\circ$ . Dengan penggunaan sudut-sudut tersebut, didapat pula jarak antar celah yang presisi sehingga sinar langsung tidak dapat masuk mengenai selubung utama bangunan. Sedangkan cahaya yang dipantulkan oleh bidang celah (*difuse*) masih diterima dan diteruskan menuju selubung transparan bangunan.

Tabel 4. 31 Visualisasi sampel dengan penggunaan overhang horizontal dengan bidang celah vertikal

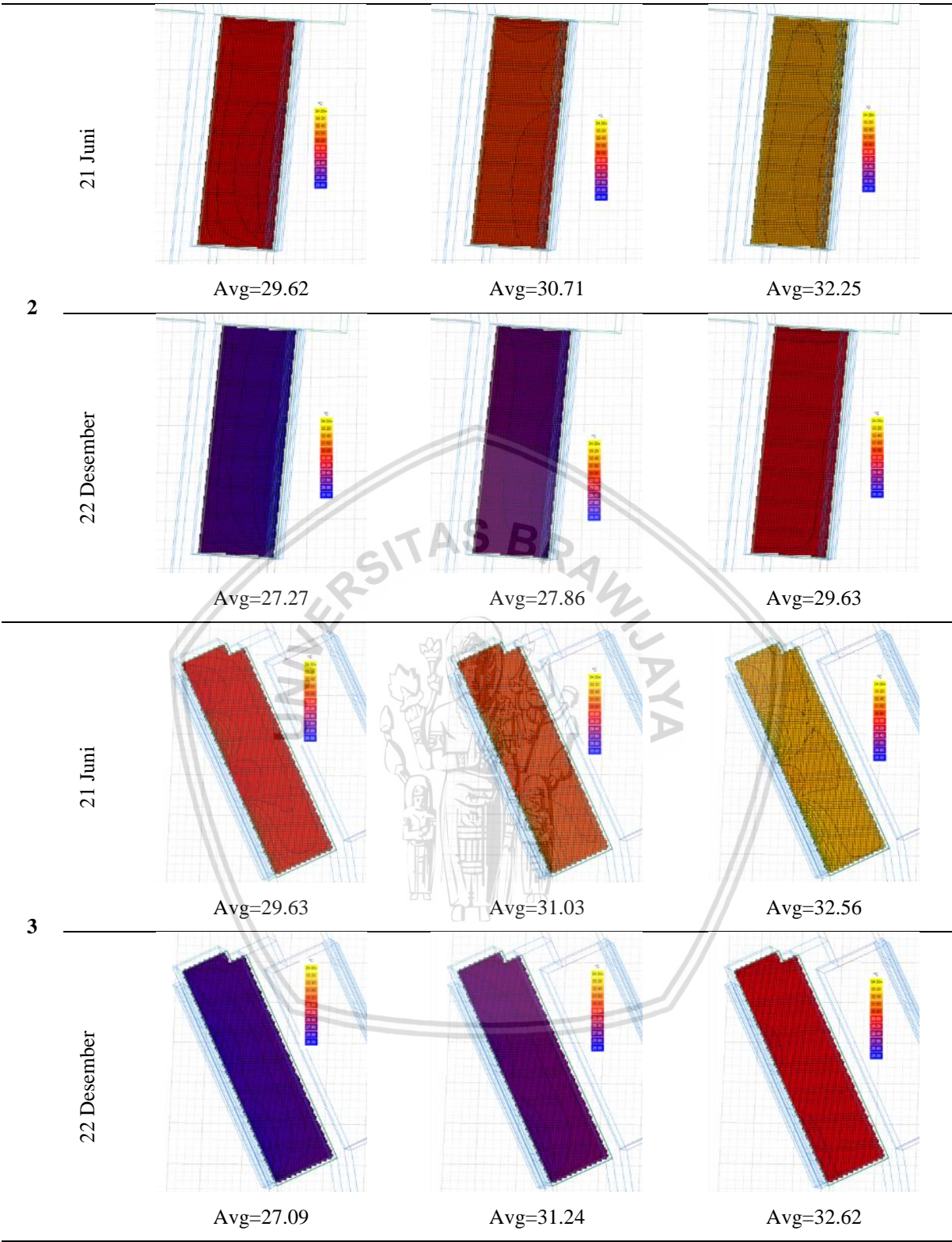


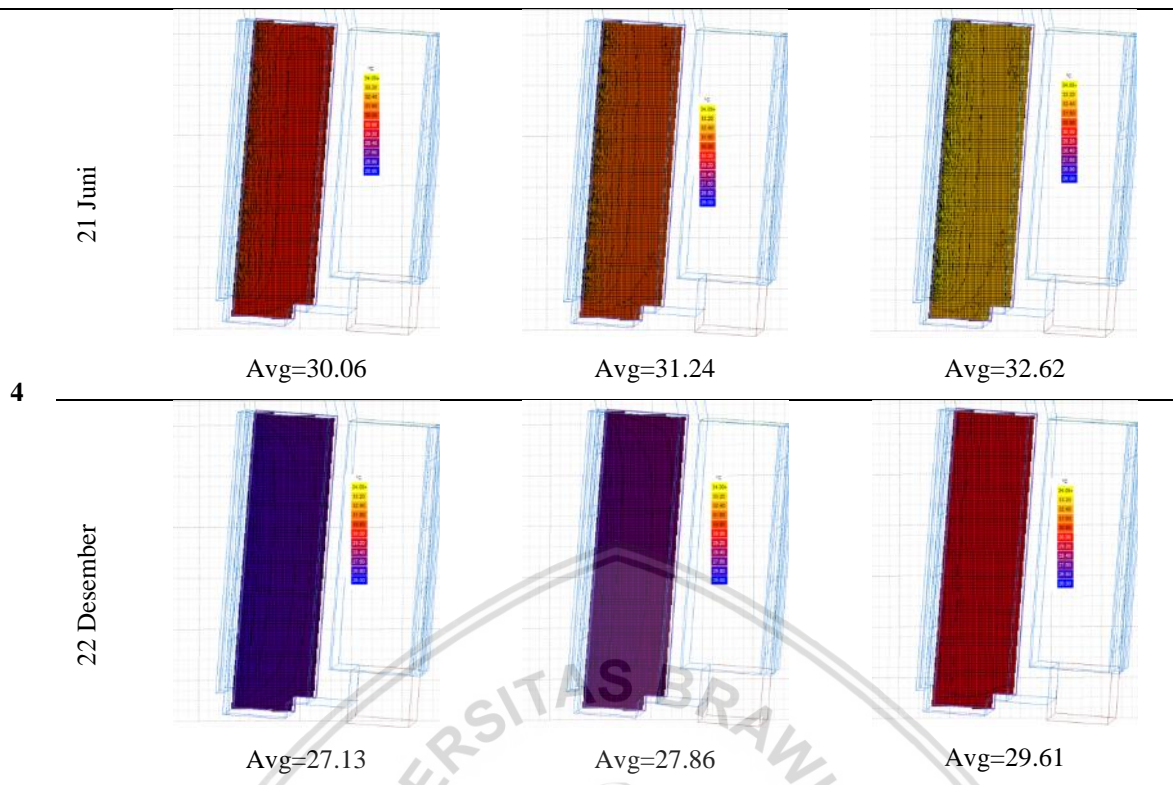


Tabel 4. 32 Hasil renderasi simulasi suhu median (MRT) pada penggunaan overhang horizontal dengan bidang celah vertikal

Sampel	Waktu	08.00	12.00	16.00
1	21 juni	 Avg=29.81	 Avg=30.80	 Avg=32.44
	22 Desember	 Avg=27.28	 Avg=27.86	 Avg=29.64

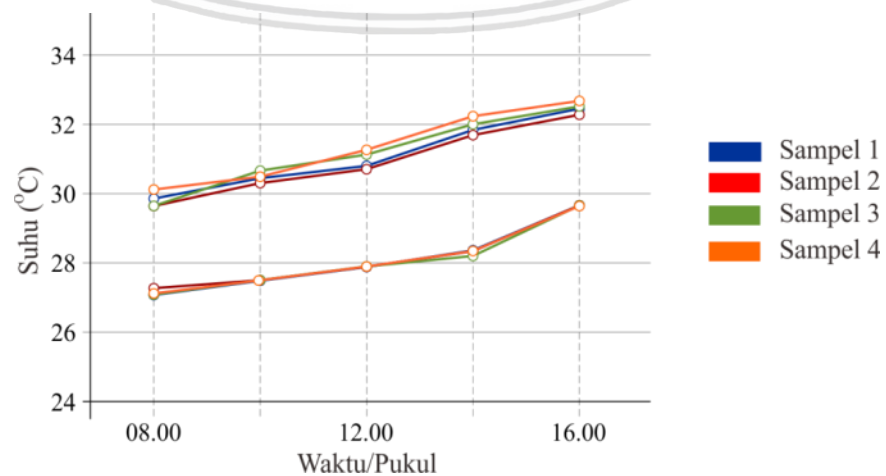






Tabel 4. 33 Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel menggunakan overhang kombinasi celah vertikal

Sampel	Waktu	Suhu (°C)		
		08.00	12.00	16.00
1	22 Juni	29.81	30.80	32.44
	22 Desember	27.28	27.86	29.64
2	22 Juni	29.62	30.71	32.25
	22 Desember	27.27	27.86	29.63
3	22 Juni	29.63	31.03	32.56
	22 Desember	27.09	27.88	29.64
4	22 Juni	30.06	31.24	32.62
	22 Desember	27.13	27.86	29.61



Gambar 4. 75 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan overhang horizontal dengan bidang celah vertikal

Berdasarkan hasil simulasi pengolahan penggunaan media bayang horizontal dan media bayang horizontal dengan kombinasi celah vertikal, dapat diketahui perbandingan hasil kinerja dari keduanya. Adapun perbandingan tersebut diuraikan pada tabel berikut

Tabel 4. 34 Perbandingan efisiensi performa alternatif dengan penggunaan media bayang

Sampel	Grafik Perbandingan Suhu Rata-Rata	Koefisien Performa Alternatif Media Bayang	
		Shading Device 1 (Overhang Horizontal)	Shading Device 2 (Overhang + Celah Vertikal)
1		$\frac{(29,942 - 29,848)}{29,942} \times 100\% = 0,31\%$	$\frac{(29,942 - 29,64)}{29,942} \times 100\% = 1,01\%$
2		$\frac{(30,419 - 29,668)}{30,419} \times 100\% = 2,47\%$	$\frac{(30,419 - 29,555)}{30,419} \times 100\% = 3,10\%$
3		$\frac{(29,924 - 29,775)}{29,924} \times 100\% = 0,50\%$	$\frac{(29,924 - 29,638)}{29,924} \times 100\% = 0,96\%$
4		$\frac{(30,017 - 29,82)}{30,017} \times 100\% = 0,66\%$	$\frac{(30,017 - 29,755)}{30,017} \times 100\% = 0,87\%$

Dari hasil perbandingan yang dilakukan, dapat diketahui bahwa pilihan penggunaan media bayang dengan hasil kinerja yang baik ditunjukkan pada

penggunaan overhang horizontal dengan kombinasi celah vertikal yang mampu memberikan efisiensi penurunan rata-rata mencapai 1,485%. Langkah selanjutnya yakni pertimbangan pengolahan selubung dengan menerapkan media selubung ganda.

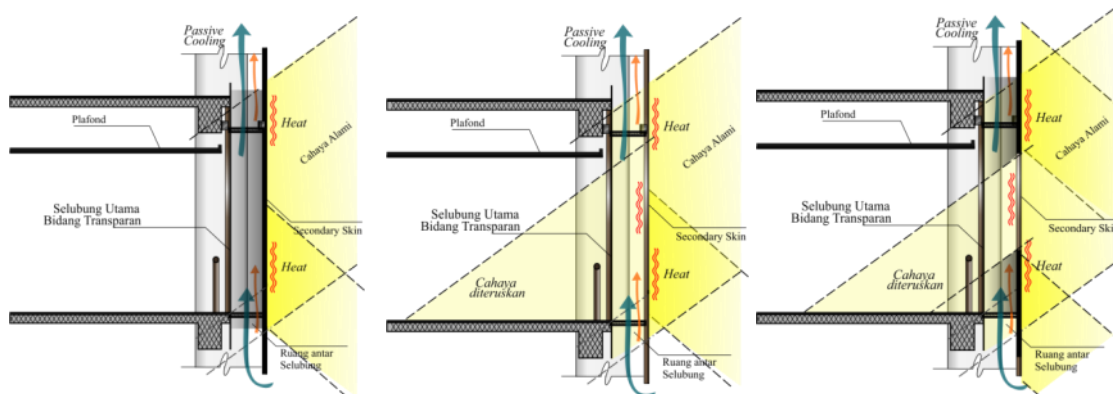
### 3. Selubung Ganda (*Double Skin*)

Pertimbangan alternatif selanjutnya adalah langkah isolasi panas dengan menggunakan selubung ganda. Selubung kedua dipasang pada sisi terluar selubung utama dengan pengaturan antar selubung. Pengolahan tersebut menciptakan ruang rongga antar selubung yang memungkinkan adanya sirkulasi udara yang mampu menurunkan panas sehingga panas yang diterima oleh selubung utama cukup minim. Material yang digunakan pada selubung ganda dapat bersifat transparan, masif, maupun gabungan. Hal ini juga memberikan hasil performa tersendiri. Perlu dipertimbangkan bahwa penggunaan selubung ganda pada daerah tropis rawan memiliki tingkat temperatur yang tinggi akibat dari efek penahanan panas atau *glass effect* apabila menggunakan terlalu banyak material kaca transparan.

Selubung ganda dengan material masif memiliki kelebihan dalam menghalau panas dengan baik. Namun, bidang yang masif tidak cukup baik dalam meneruskan cahaya serta mengalirkan visual ruang dalam dengan ruang luar. Akibatnya, suasana ruang menjadi redup dan kurang mendukung kualitas bekerja di dalam ruang, sekalipun sinar yang diterima selubung utama sangatlah minim.

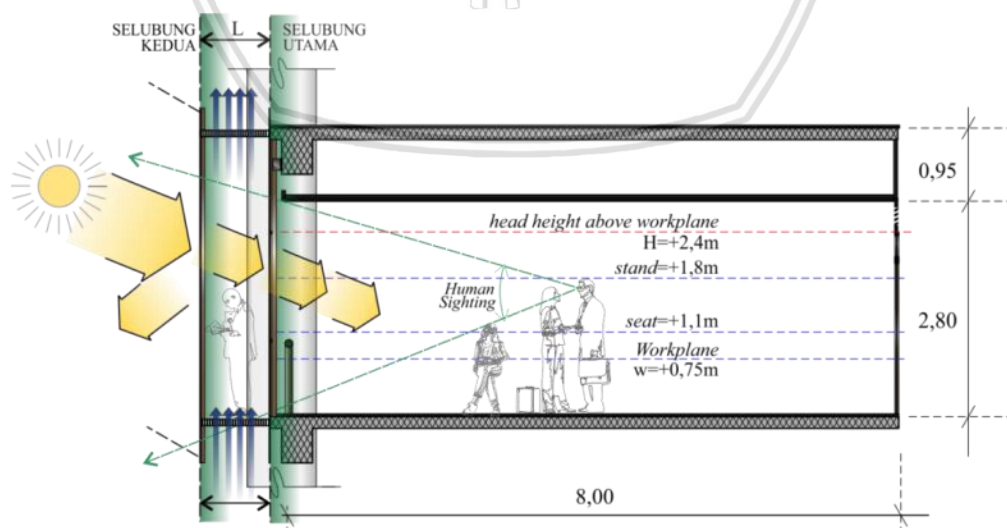
Selubung ganda transparan memiliki kelebihan dalam meneruskan cahaya masuk untuk penerangan serta mengalirkan visual ruang secara maksimal. Namun, material ini memiliki kerentanan dalam menghalau panas yang diterima. Adapun penggunaan kombinasi antara material transparan dengan material masif mampu menjadi titik tengah dari pertimbangan keduanya. Pengaturan komposisi serta proporsi yang tepat dapat memberikan kelebihan baik dalam menghalau panas, mengalirkan cahaya, serta mengalirkan ruang visual antara ruang dalam dengan ruang luar.





Gambar 4. 76 Perbandingan pengolahan selubung ganda masif, selubung ganda transparan, dan gabungan

Jarak antara selubung utama dengan selubung kedua haruslah berada pada ukuran yang baik. Selubung baiknya tidak kurang dari 20 cm untuk mengurangi efek panas antar selubung serta tidak pula terlalu lebar agar tidak terlalu sulit dalam pemasangan struktur. Ukuran yang dipertimbangkan pada alternatif ini adalah sebisa mungkin rongga antar selubung memiliki lebar yang cukup untuk sirkulasi manusia guna melakukan *maintenance*. Lebar kolom yang timbul dari permukaan selubung adalah 30, sedangkan pertimbangan sirkulasi manusia untuk 1 orang adalah 60cm. Dari perhitungan tersebut didapat jarak antar selubung sebesar 90 cm. Jarak tersebut terbilang dalam kategori baik dalam meredam hantaran panas dari selubung kedua ke selubung utama.

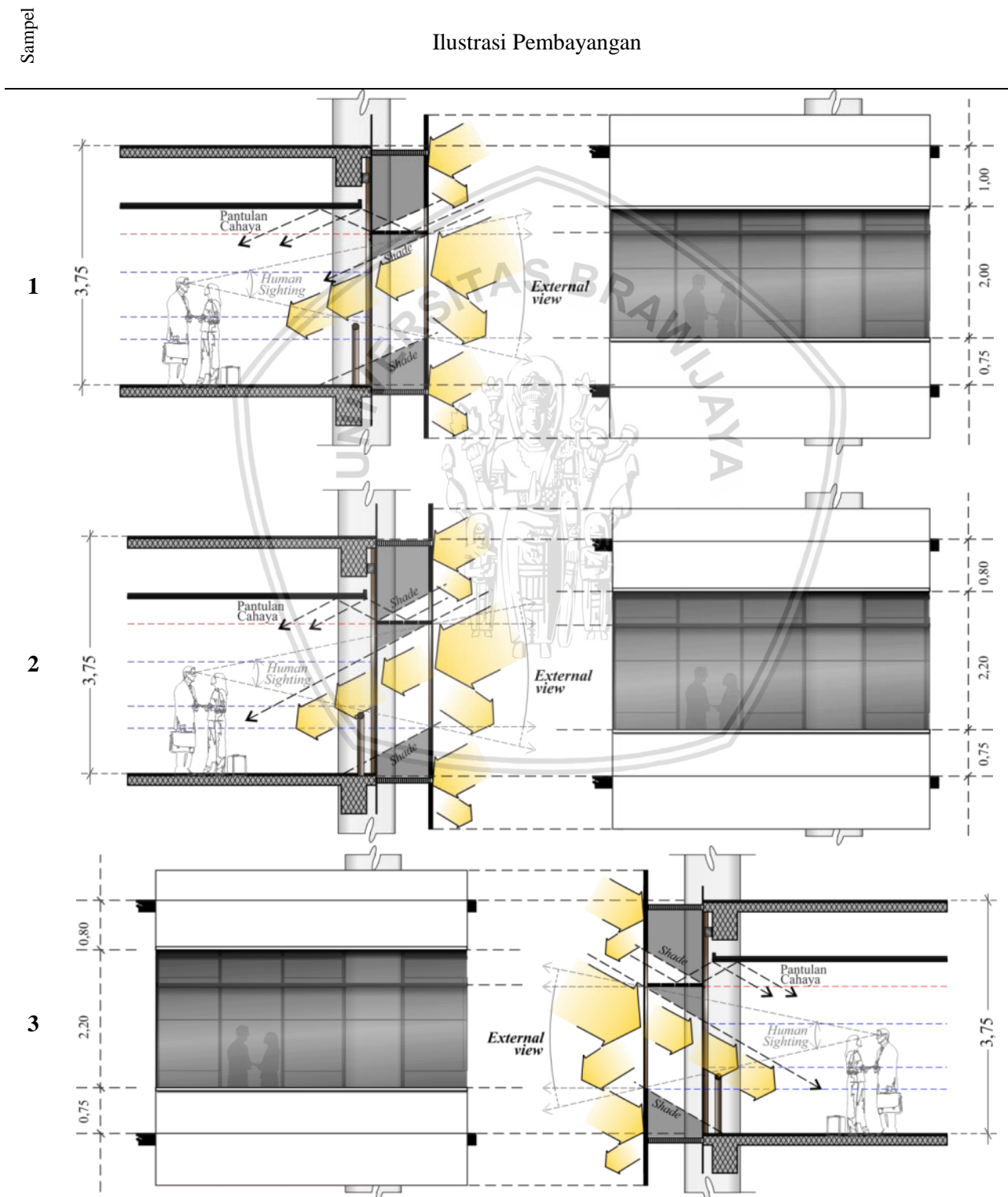


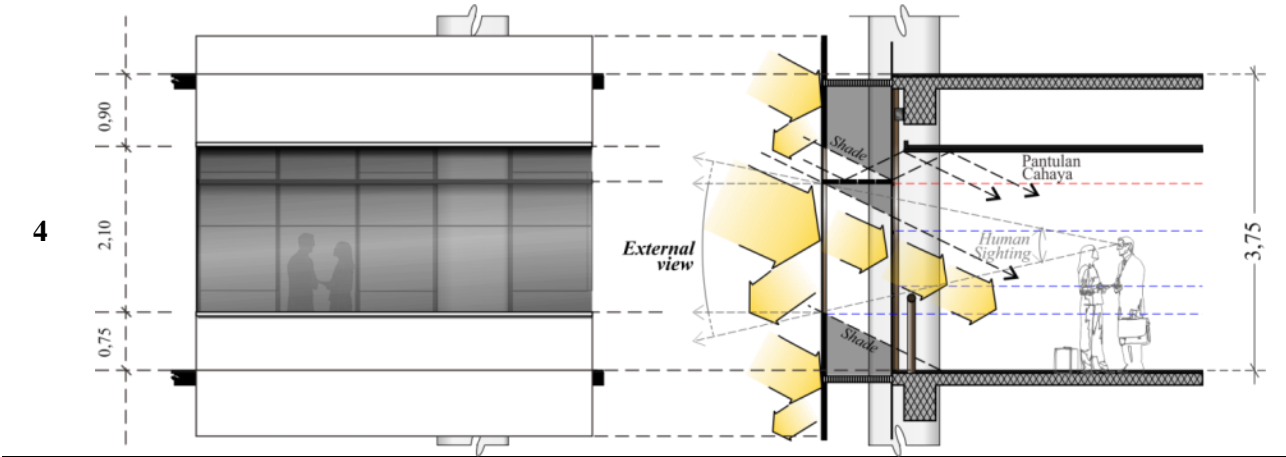
Gambar 4. 77 Analisis pertimbangan jarak antar selubung bangunan dengan selubung kedua bangunan berdasarkan keteraturan ketinggian



Pilihan yang digunakan pada pengolahan ini adalah selubung dengan material transparan dan masif (gabungan) yang disesuaikan dengan ketinggian bukaan visual pada ruang sampel. Adapun kenampakan pengolahannya ditunjukkan pada tabel berikut

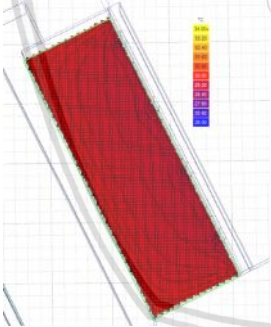
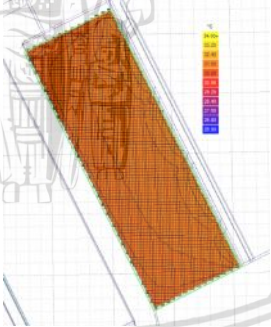
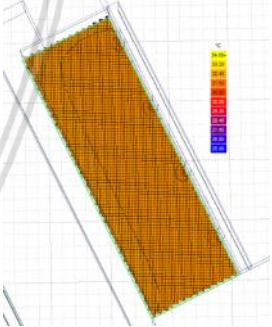
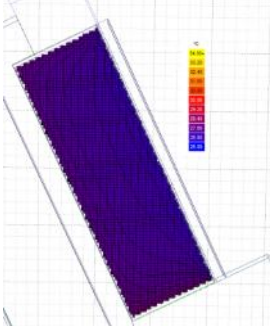
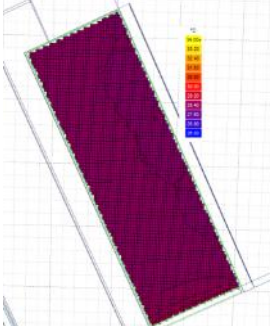
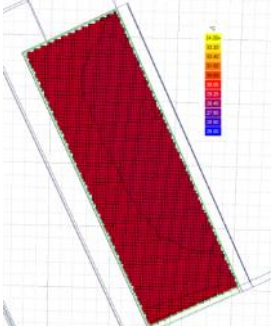
Tabel 4. 35 Visualisasi sampel dengan penggunaan selubung ganda masif dan transparan

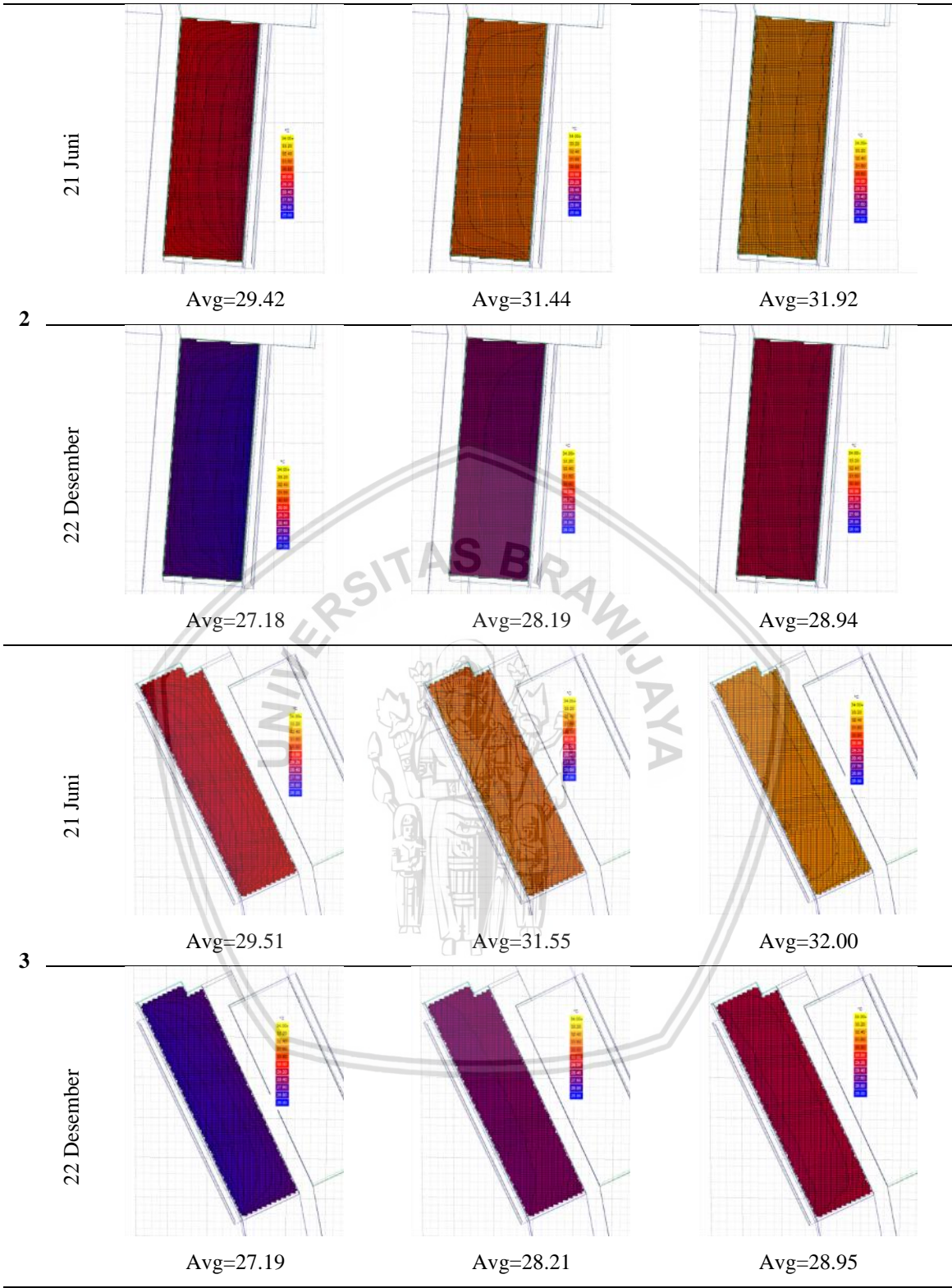




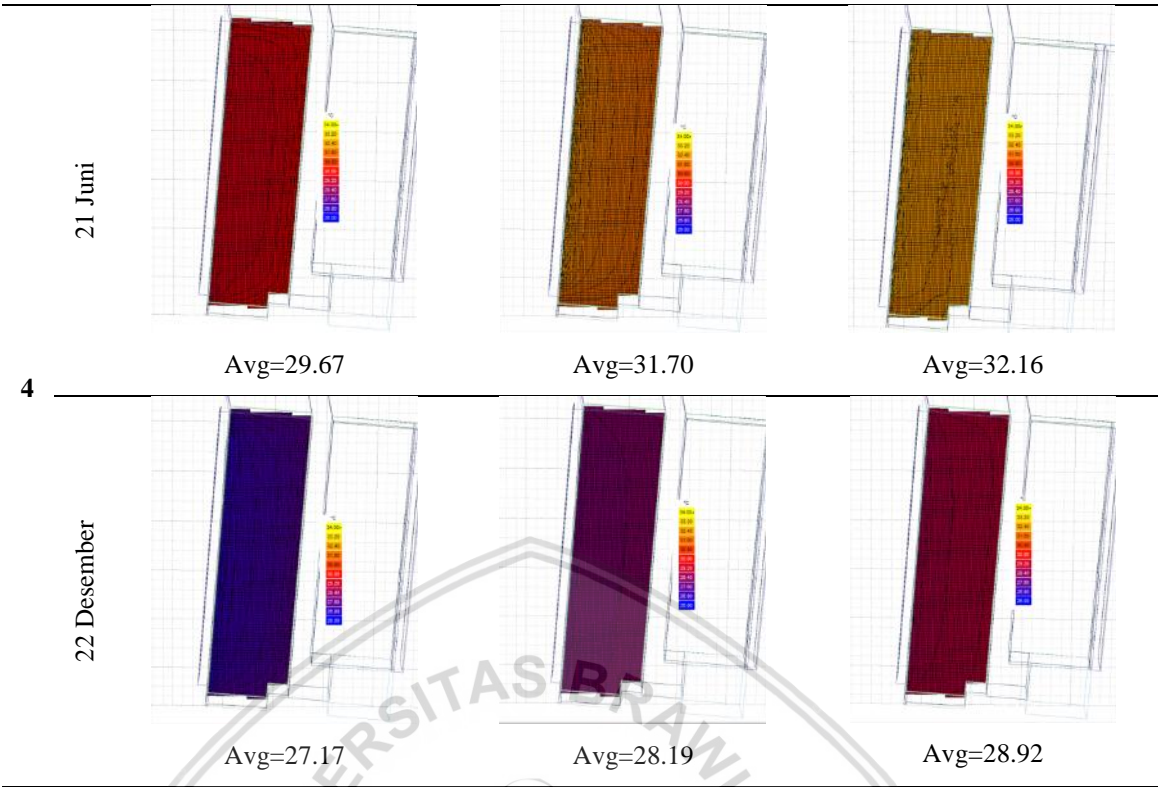
Dalam mengetahui seberapa besar performa dari penggunaan pengolahan ini, maka dilakukan simulasi tingkat tempertaur pada masing-masing sampel dengan hasil sebagai berikut

Tabel 4. 36 Hasil renderasi simulasi suhu median (MRT) pada penggunaan selubung ganda masif dan transparan

Sampel Waktu	08.00	12.00	16.00
21 juni	 Avg=29.60	 Avg=32.31	 Avg=32.08
22 Desember	 Avg=27.30	 Avg=28.34	 Avg=29.21

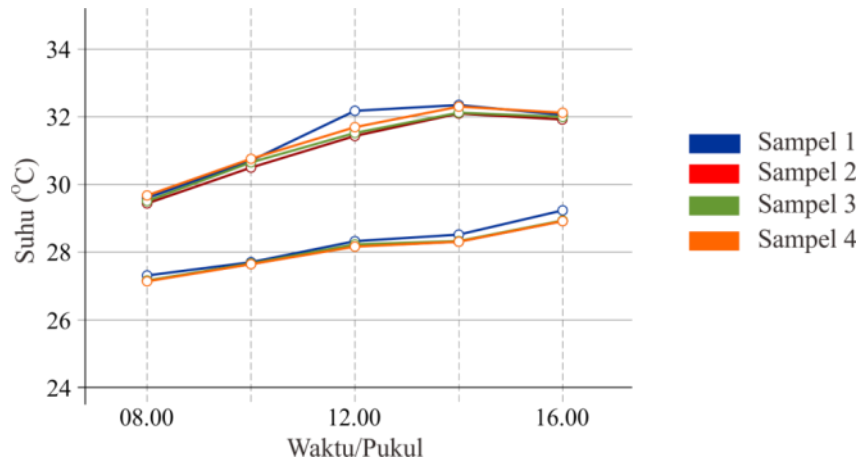






Tabel 4. 37 Hasil simulasi rata-rata pada sampel mengunkakan selubung ganda masif dan transparan

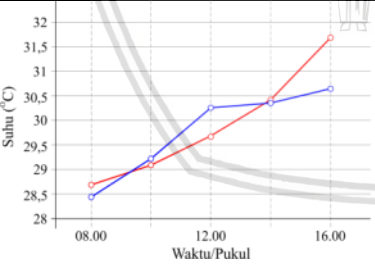
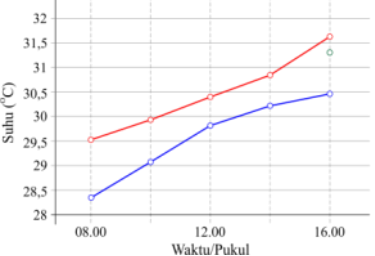
Sampel	Waktu	Suhu (°C)		
		08.00	12.00	16.00
1	22 Juni	29,60	32,31	32,08
	22 Desember	27,30	28,34	29,21
2	22 Juni	29,42	31,44	31,92
	22 Desember	27,18	28,19	28,94
3	22 Juni	29,51	31,55	32,00
	22 Desember	27,19	28,21	28,95
4	22 Juni	29,67	31,70	32,16
	22 Desember	27,17	28,19	28,92



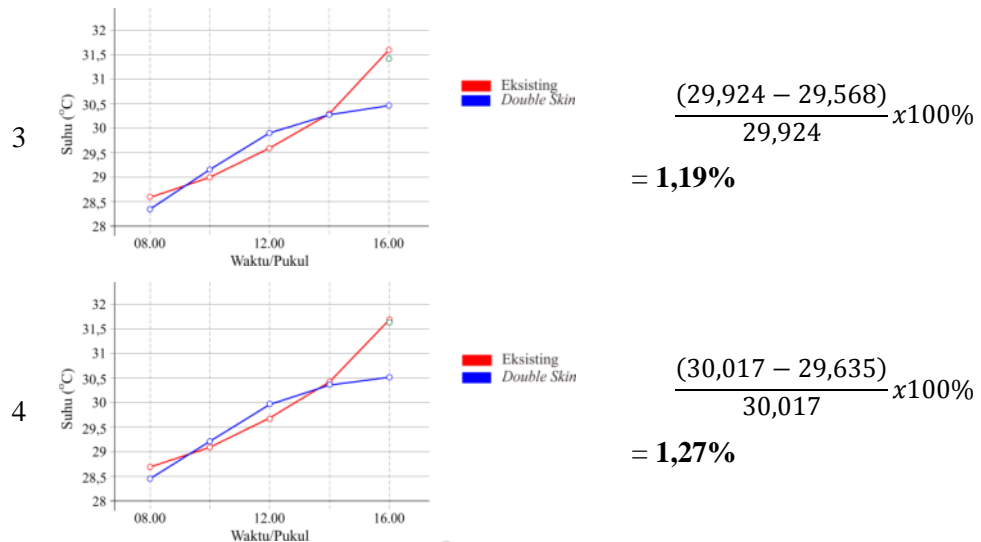
Gambar 4. 78 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel menggunakan selubung ganda masif dan transparan

Dari data yang didapat berdasarkan simulasi temperatur di atas, didapat angka rata-rata performa penurunan beban pendinginan pada masing-masing sampel seperti pada tabel berikut

Tabel 4. 38 Perhitungan koefisiensi kinerja alternatif dengan penggunaan selubung ganda masif dan transparan

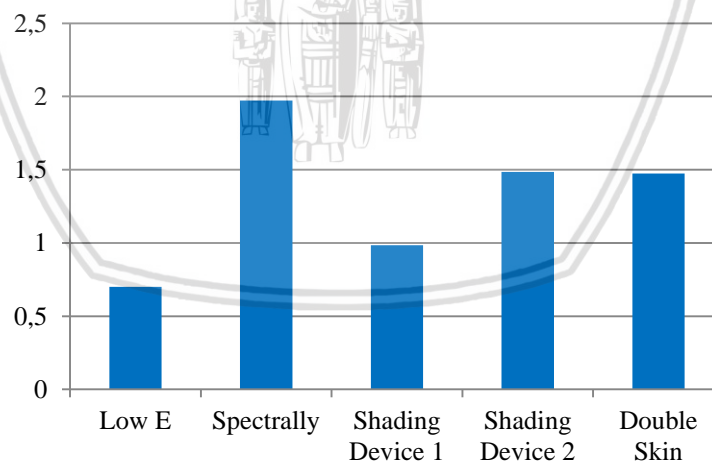
Sampel	Grafik Perbandingan Suhu Rata-Rata	Koefisien Performa Alternatif Selubung Ganda Kombinasi Masif dan Transparan
1		$\frac{(29,942 - 29,8)}{29,942} \times 100\%$ <p>= <b>0,47%</b></p>
2		$\frac{(30,419 - 29,515)}{30,419} \times 100\%$ <p>= <b>2,97%</b></p>





#### 4. Alternatif Gabungan

Setelah diketahui hasil efisiensi penurunan beban pendinginan melalui serangkaian simulasi, pertimbangan selanjutnya adalah menggabungkan alternatif-alternatif terbaik sebelumnya menjadi alternatif baru yang memungkinkan. Adapun hasil dari alternatif-alternatif sebelumnya dibandingkan pada grafik berikut



Gambar 4. 79 Tingkat perbedaan rata-rata performa alternatif

Berdasarkan perbandingan tingkat rata-rata koefisien performa penurunan temperatur pada alternatif-alternatif sebelumnya, dapat diketahui bahwa pemilihan alternatif dengan penggantian material transparan dengan sistem *double glazing* serta *coating Spectrally Selective* merupakan pilihan terbaik

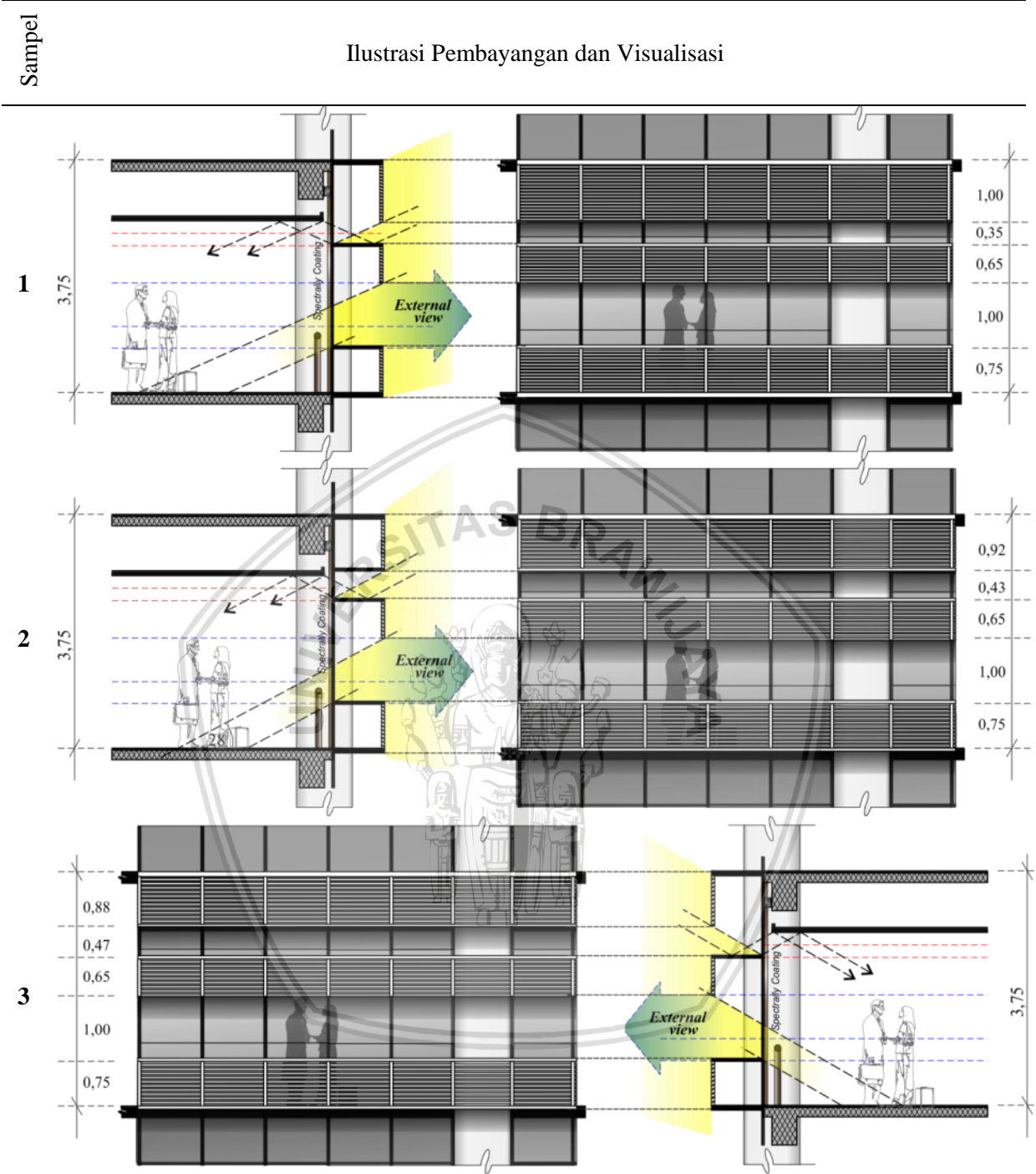
dalam menurunkan temperatur pada ruang-ruang sampel. Adapun pilihan lain yang memiliki kinerja baik pula adalah dengan penggunaan *shading device* overhang horizontal yang dikombinasikan dengan bidang celah vertikal dan pilihan lain yakni penggunaan selubung ganda dengan material transparan dan masif. Kedua pilihan antara penggunaan media bayang overhang berpanel celah dengan pilihan penggunaan selubung ganda masif dan transparan hanya memiliki selisih nilai hasil rata-rata koefisien sebesar 0,01. Untuk itu kedua pilihan ini patut dipertimbangkan ulang untuk dikombinasikan.

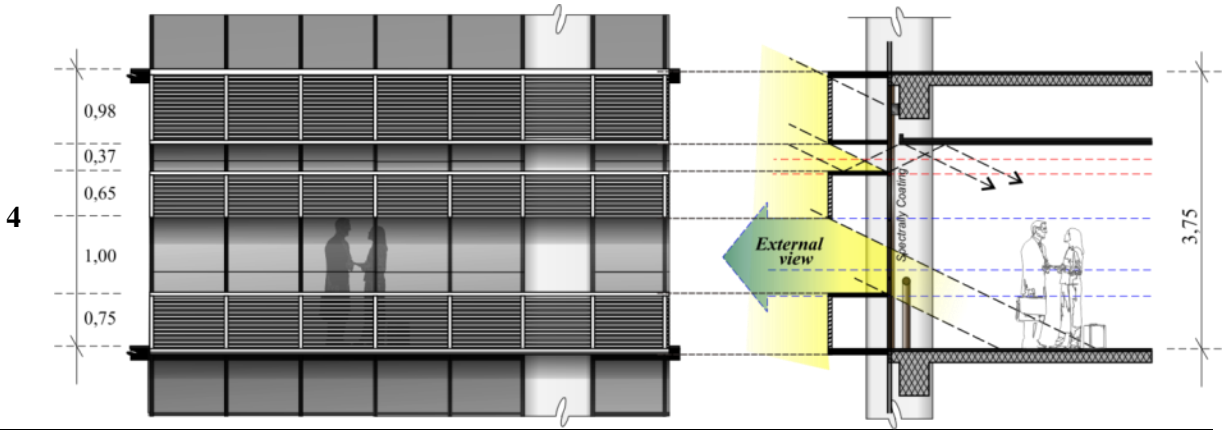
Pertimbangan alternatif lanjutan yang dapat dilakukan adalah dengan menggabungkan pilihan-pilihan alternatif terbaik sebelumnya menjadi alternatif baru. Adapun dalam hal ini yang memungkinkan untuk dikombinasikan adalah penggabungan anantara material *double glazing spectrally* dengan pilihan media bayang overhang kombinasi celah vertikal dan penggabungan material *double glazing spectrally* dengan pilihan selubung ganda kombinasi transparan dan masif.

a. Alternatif Kombinasi 1

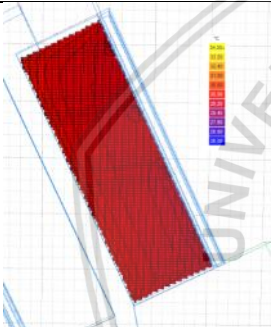
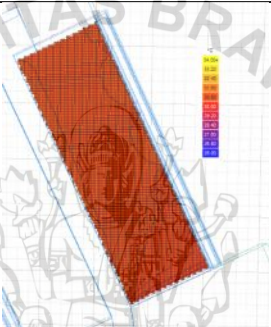
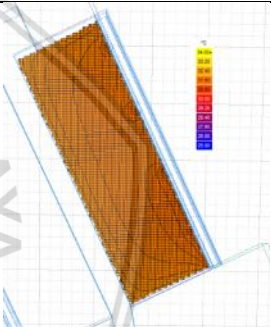
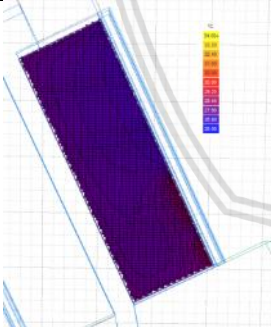
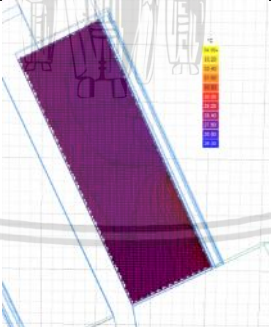
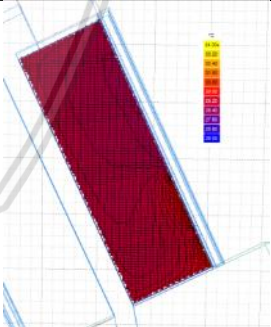
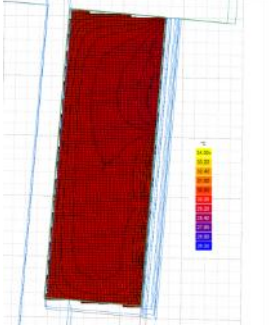
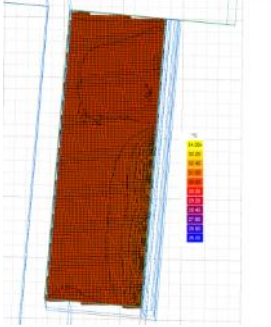
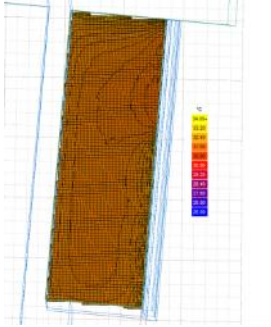
Alternatif kombinasi pertama merupakan gabungan pilihan material terbaik dengan *shading device* bercelah. *Coating spectrally* akan memberikan seleksi terkait sinar gelombang yang masuk mengenai bidang transparan bangunan sedangkan overhang maupun celah vertikal akan memberikan pembayangan dalam menghalau sinar langsung menerpa selubung. Celah yang ada mampu memantulkan cahaya *diffuse* yang diterima oleh bidang tersebut ke dalam bangunan. Secara visual pilihan alternatif ini akan ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 4. 39 Visualisasi sampel dengan pilihan kombinasi 1

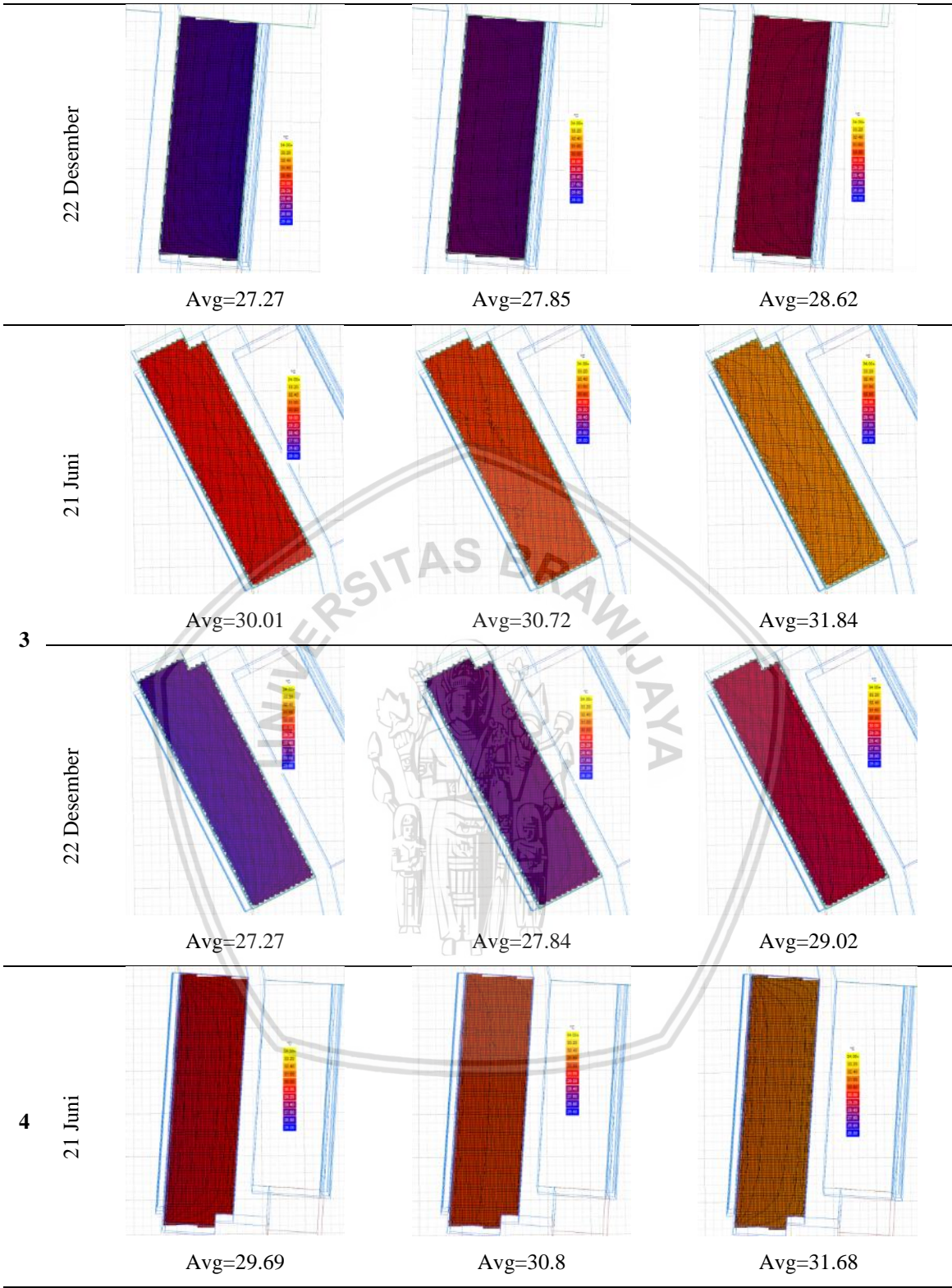




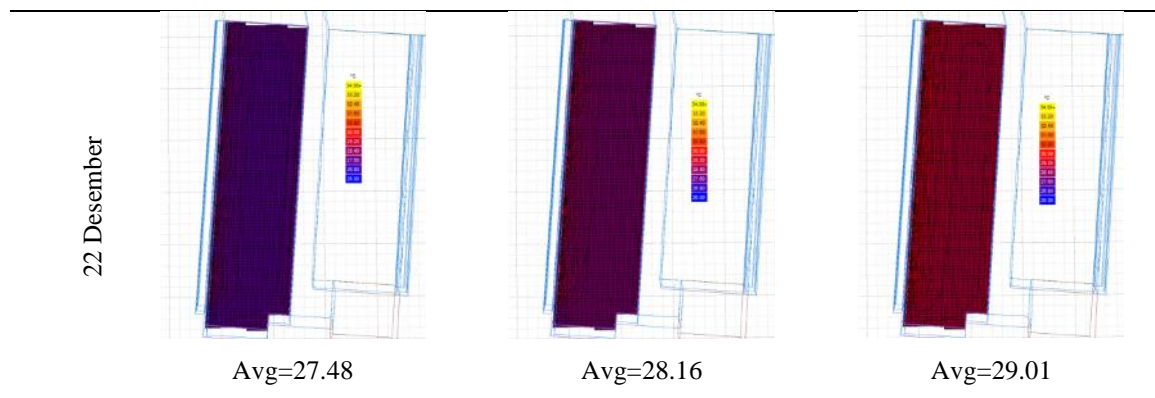
Tabel 4. 40 Hasil renderasi simulasi suhu median (MRT) pada pilihan kombinasi 1

Sampel Waktu			
	08.00	12.00	16.00
1	<div>21 juni</div>  <div>Avg=29.72</div>	 <div>Avg=30.84</div>	 <div>Avg=31.81</div>
	<div>22 Desember</div>  <div>Avg=27.52</div>	 <div>Avg=28.04</div>	 <div>Avg=28.86</div>
2	<div>21 Juni</div>  <div>Avg=29.92</div>	 <div>Avg=31.03</div>	 <div>Avg=31.75</div>



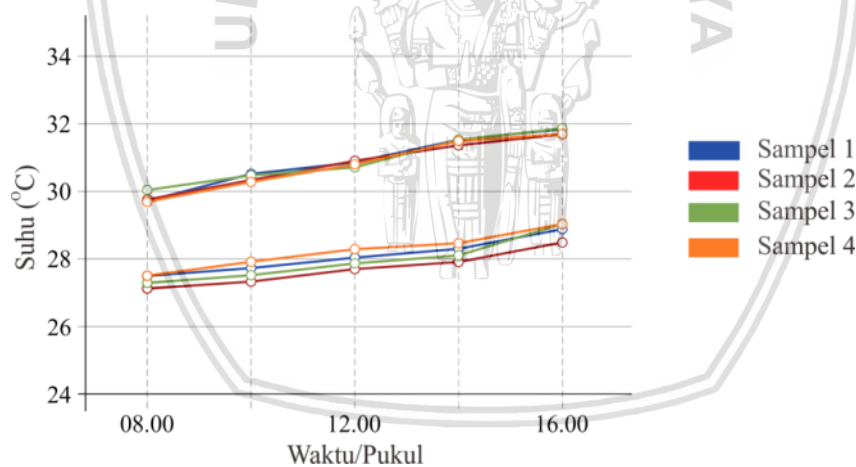






Tabel 4. 41 Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel pilihan kombinasi 1

Sampel	Waktu	Suhu (°C)		
		08.00	12.00	16.00
1	22 Juni	29,72	30,84	31,81
	22 Desember	27,52	28,04	28,86
2	22 Juni	29,92	31,03	31,75
	22 Desember	27,27	27,85	28,62
3	22 Juni	30,01	30,72	31,84
	22 Desember	27,27	27,84	29,02
4	22 Juni	29,69	30,80	31,68
	22 Desember	27,48	28,16	29,01

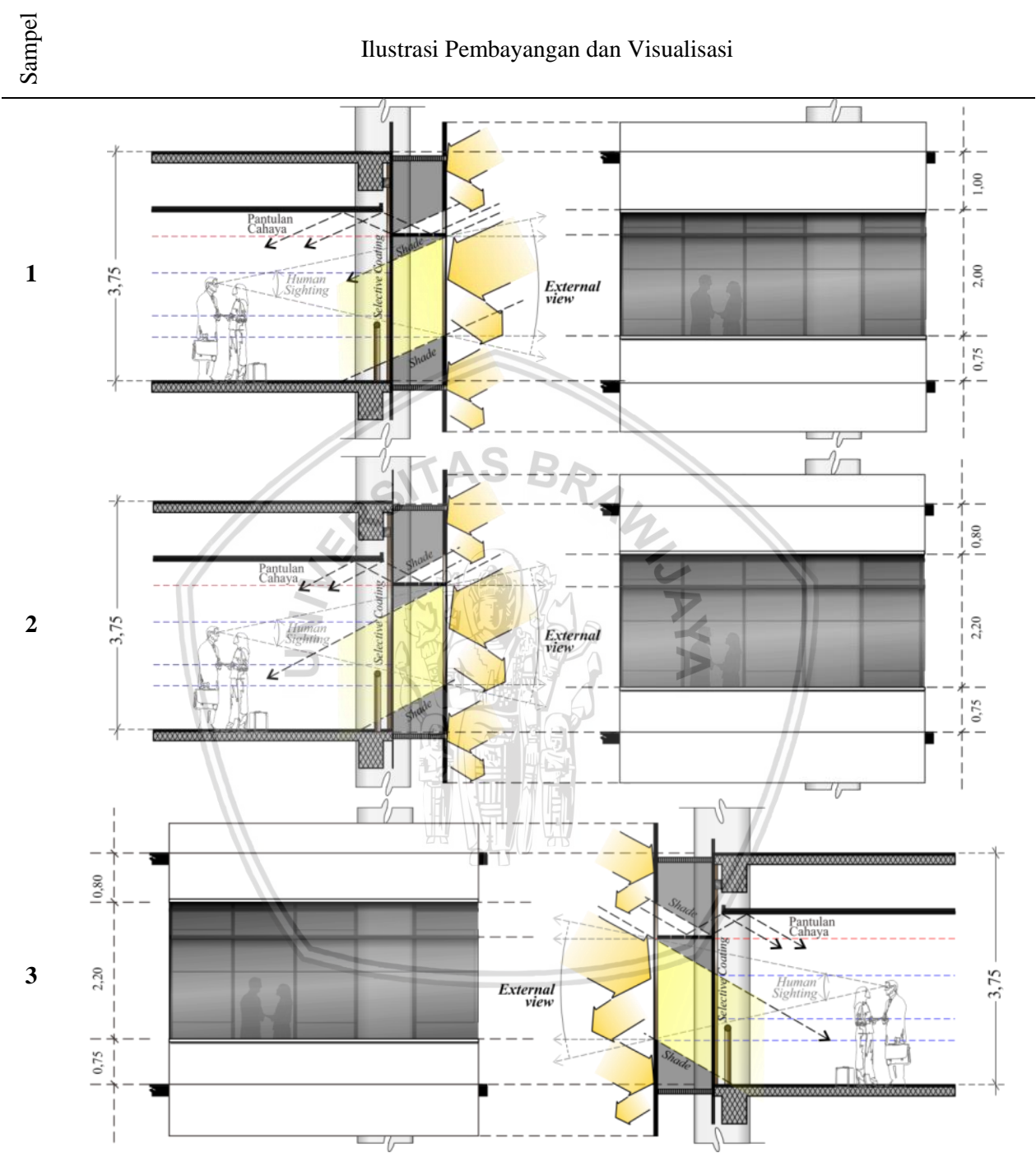


Gambar 4. 80 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel dengan pilihan kombinasi 1

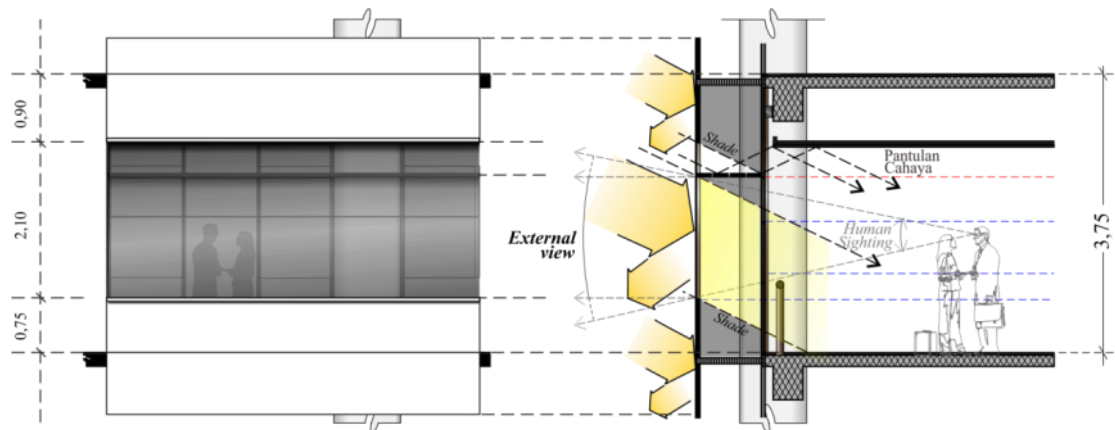
#### b. Alternatif Kombinasi 2

Alternatif kombinasi kedua merupakan gabungan pilihan material terbaik dengan *double skin* bermaterial masif dan transparan. *Double skin* akan memberikan isolasi terhadap selubung utama bangunan. Sinar langsung akan dihalau oleh material masif selubung kedua sedang sebagian sinar akan diteruskan oleh material transparan guna memaksimalkan pencahayaan alami. Secara visual pilihan alternatif ini akan ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 4. 42 Visualisasi sampel dengan penggunaan alternatif kombinasi 2

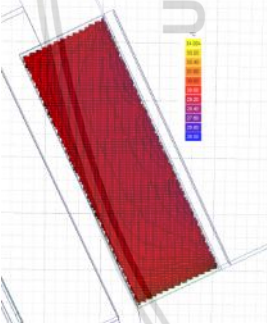
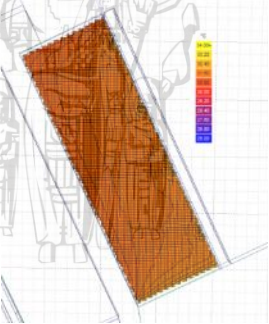
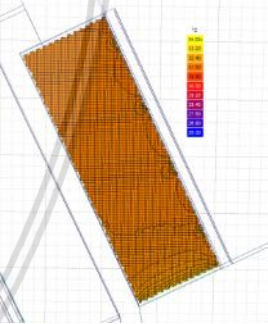
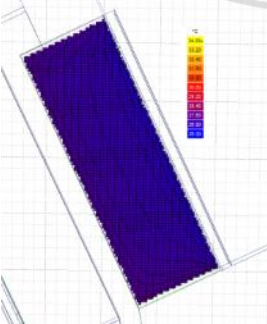
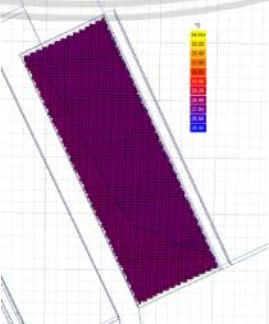
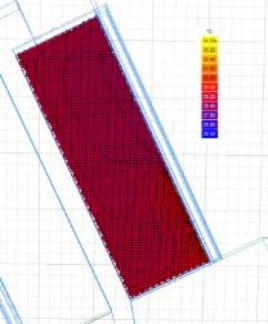


4

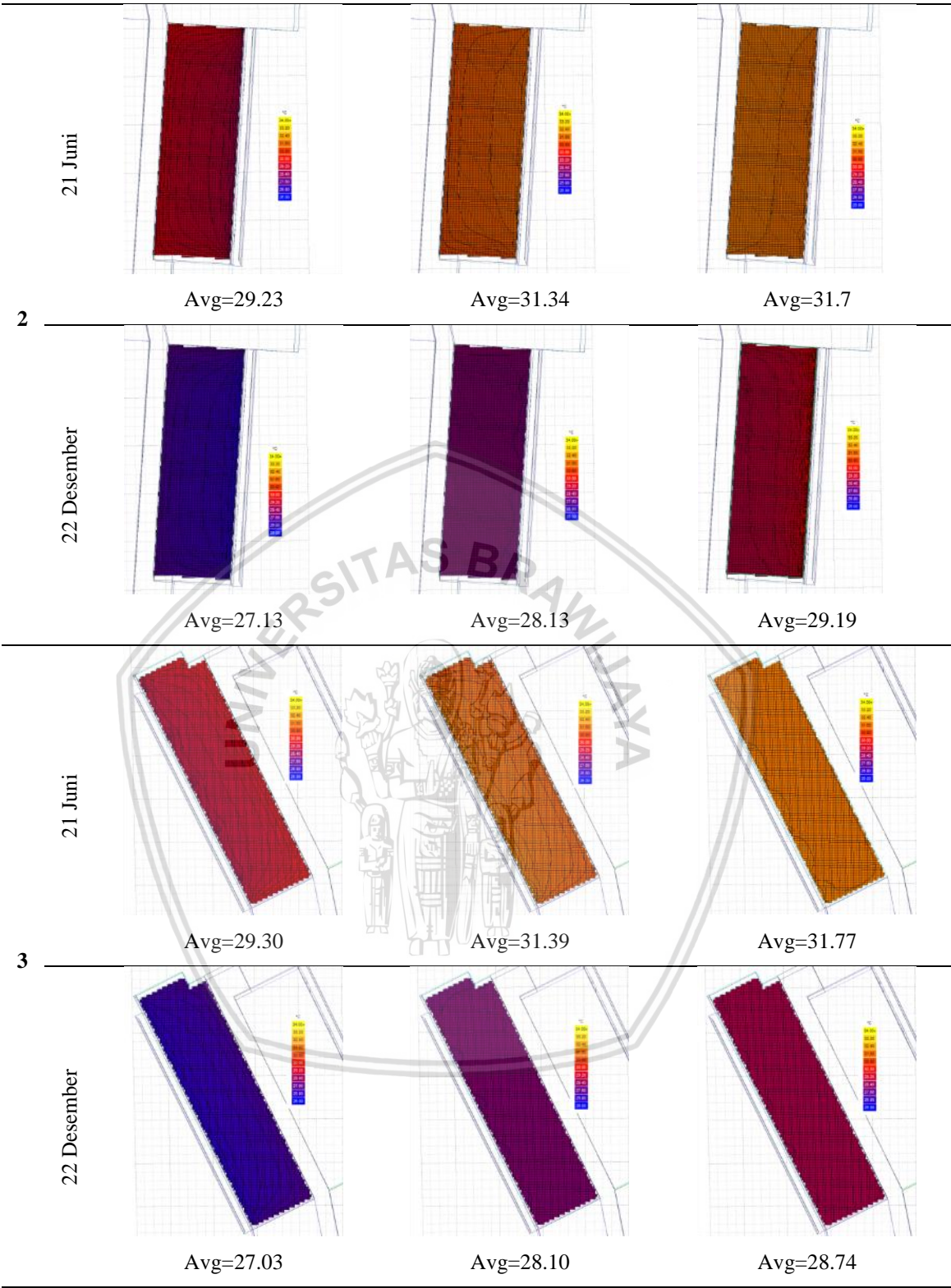


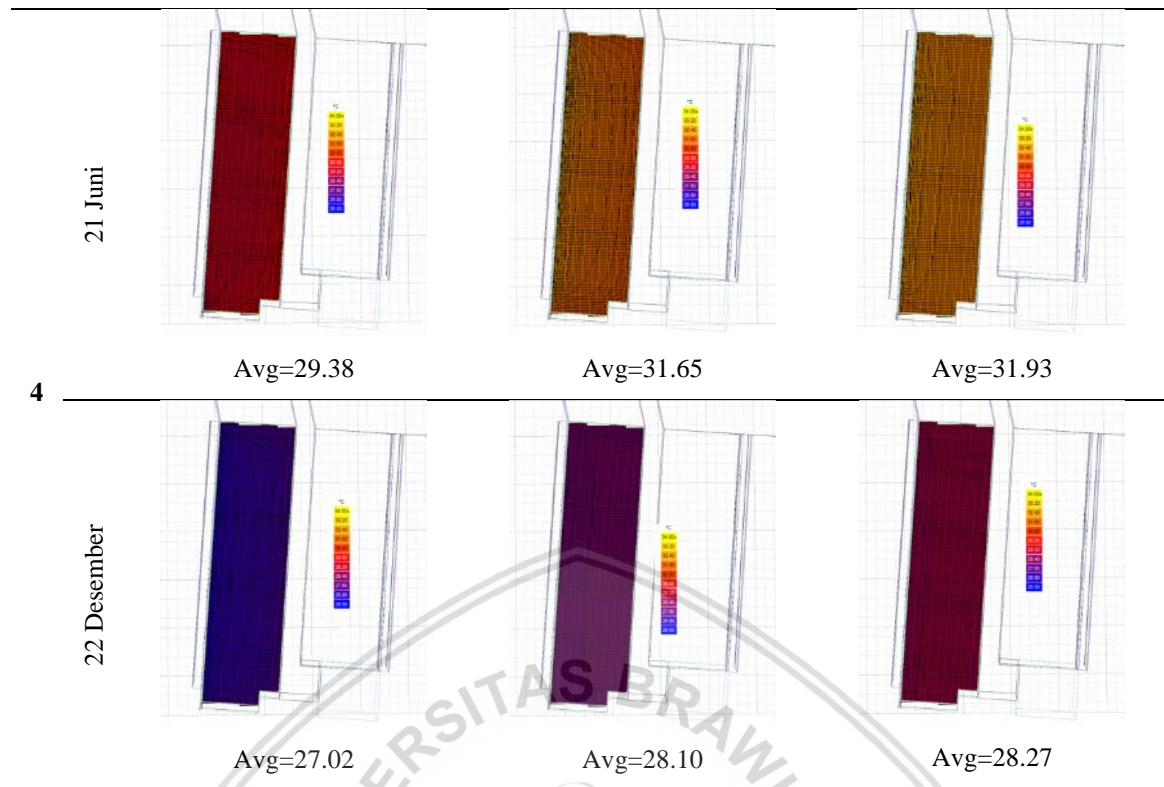
Selanjutnya langkah mengetahui performa kinerja pilihan alternatif tersebut dengan melakukan simulasi kuat temperatur. Adapun hasil dari simulasi diasajikan pada tabel berikut

Tabel 4. 43 Hasil renderasi simulasi suhu pada sampel pilihan kombinasi 2

Sampel Waktu	08.00			12.00			16.00		
21 juni									
	Avg=29.47			Avg=31.34			Avg=31.9		
22 Desember									
	Avg=27.05			Avg=28.09			Avg=28.78		

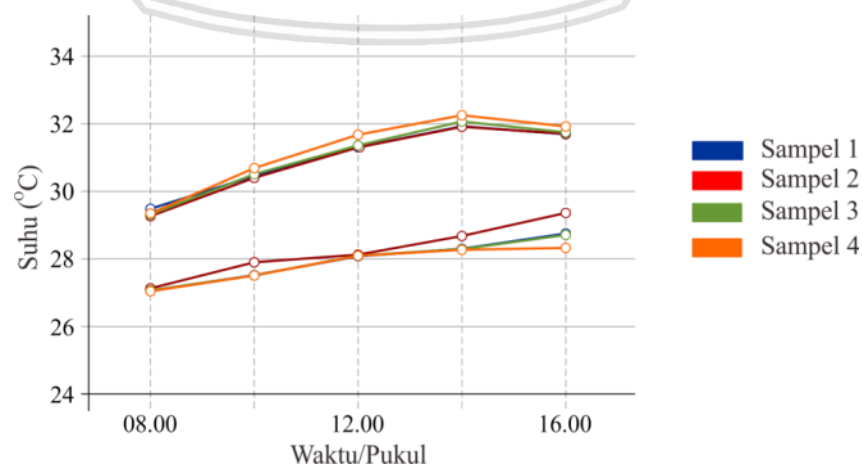






Tabel 4. 44 Hasil simulasi suhu rata-rata pada sampel pilihan kombinasi 2

Sampel	Waktu	Suhu (°C)		
		08.00	12.00	16.00
1	22 Juni	29,47	31,34	31,90
	22 Desember	27,05	28,09	28,78
2	22 Juni	29,23	31,34	31,70
	22 Desember	27,13	28,13	29,19
3	22 Juni	29,30	31,39	31,77
	22 Desember	27,03	28,10	28,74
4	22 Juni	29,38	31,65	31,93
	22 Desember	27,02	28,10	28,27



Gambar 4. 81 Perbandingan suhu rata-rata pada sampel dengan pilihan kombinasi 2



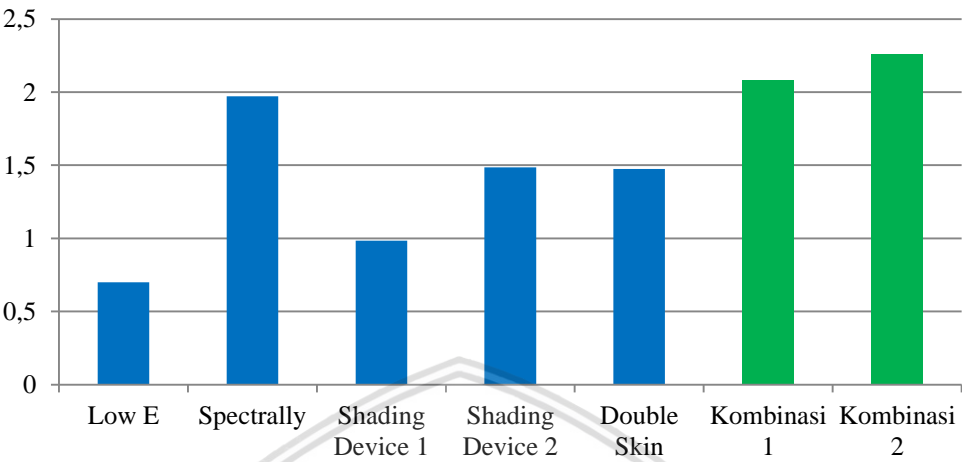
Berdasarkan hasil simulasi pilihan kombinasi 1 dan kombinasi 2, dapat diketahui perbandingan hasil kinerja dari keduanya. Adapun perbandingan tersebut diuraikan pada tabel berikut

Tabel 4. 45 Perbandingan koefisiensi kinerja alternatif kombinasi 1 dan kombinasi 2

Sampel	Grafik Perbandingan Suhu Rata-Rata	Koefisien Performa Alternatif Kombinasi	
		Kombinasi 1	Kombinasi 2
1		$\frac{(29,942 - 29,465)}{29,942} \times 100\%$ $= 1,59\%$	$\frac{(29,942 - 29,435)}{29,942} \times 100\%$ $= 1,69\%$
2		$\frac{(30,419 - 29,406)}{30,419} \times 100\%$ $= 3,33\%$	$\frac{(30,419 - 29,453)}{30,419} \times 100\%$ $= 3,18\%$
3		$\frac{(29,924 - 29,448)}{29,924} \times 100\%$ $= 1,59\%$	$\frac{(29,924 - 29,388)}{29,924} \times 100\%$ $= 1,79\%$
4		$\frac{(30,017 - 29,47)}{30,017} \times 100\%$ $= 1,82\%$	$\frac{(30,017 - 29,302)}{30,017} \times 100\%$ $= 2,38\%$

Dari tabel perbandingan tersebut, dapat diketahui bahwa kinerja rekomendasi yang memiliki nilai lebih unggul di setiap simulasi sampel adalah kombinasi 2 yang merupakan gabungan dari penggunaan *double glazing* *bercoating* *spectrally selective* dengan selubung ganda bermaterial masif dan ransparan. Nilai efisiensi rata-rata penurunan yang dihasilkan pada kombinasi 1 sebesar 2,0825% sedangkan pada kombinasi 2 sebesar 2,26%. Adapun

perbandingan nilai tersebut dengan nilai dari alternatif-alternatif sebelumnya adalah sebagai berikut



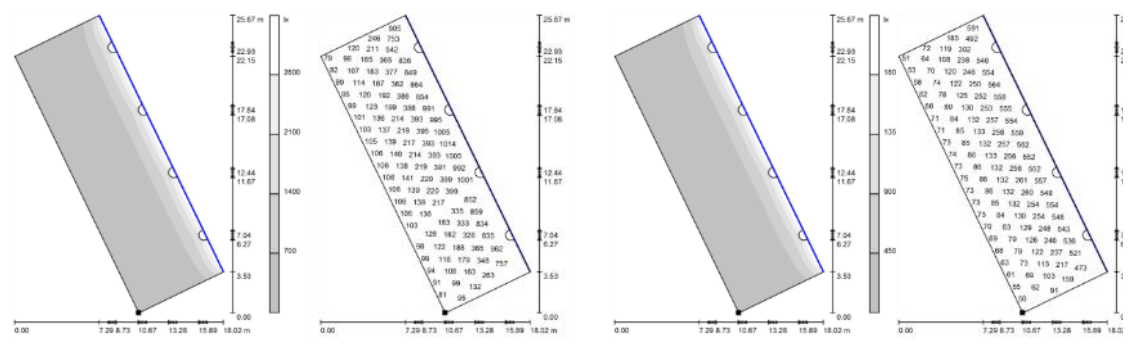
Gambar 4. 82 Tingkat perbedaan rata-rata performa alternatif serta kombinasi

Dapat disimpulkan bahwa pilihan kombinasi 2 memiliki nilai efisiensi penurunan beban pendinginan lebih tinggi dibandingkan semua pilihan alternatif yang telah disimulasikan. Untuk mengetahui bagaimana hasil pencahayaan yang didapat dari pilihan alternatif ini, maka akan dilakukan simulasi pencahayaan berdasarkan karakter elemen pada pilihan kombinasi 2. Adapun hasil simulasi pencahayaan nampak pada tabel berikut

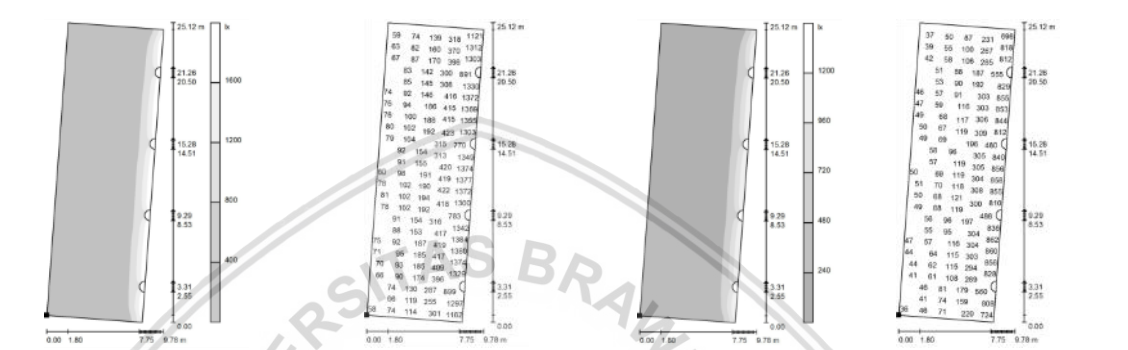
Tabel 4. 46 Hasil renderasi simulasi cahaya pada pilihan kombinasi 2

Sampel Waktu	08.00	16.00
1 21 juni		

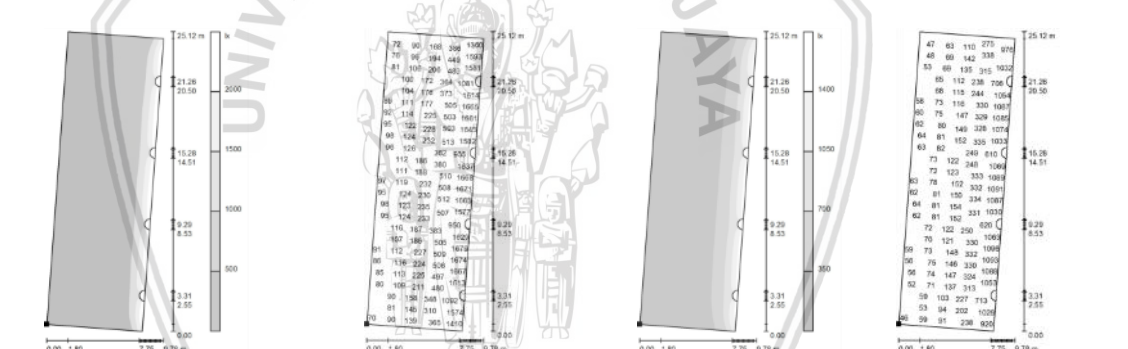
22 Desember



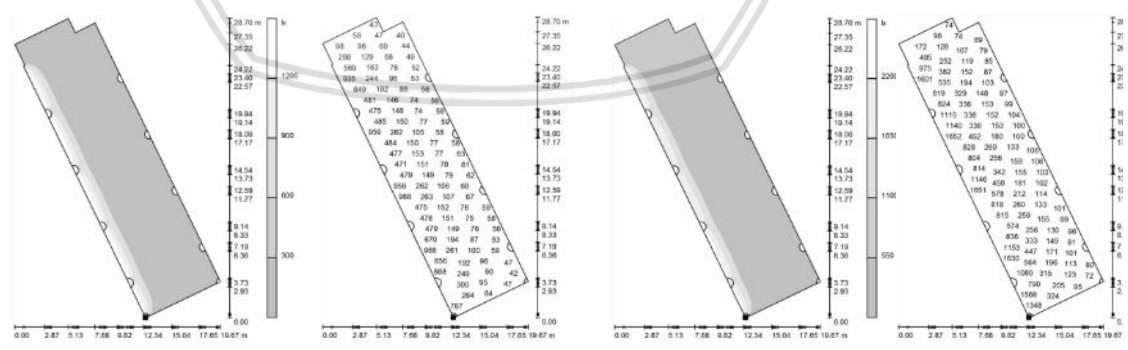
21 Juni

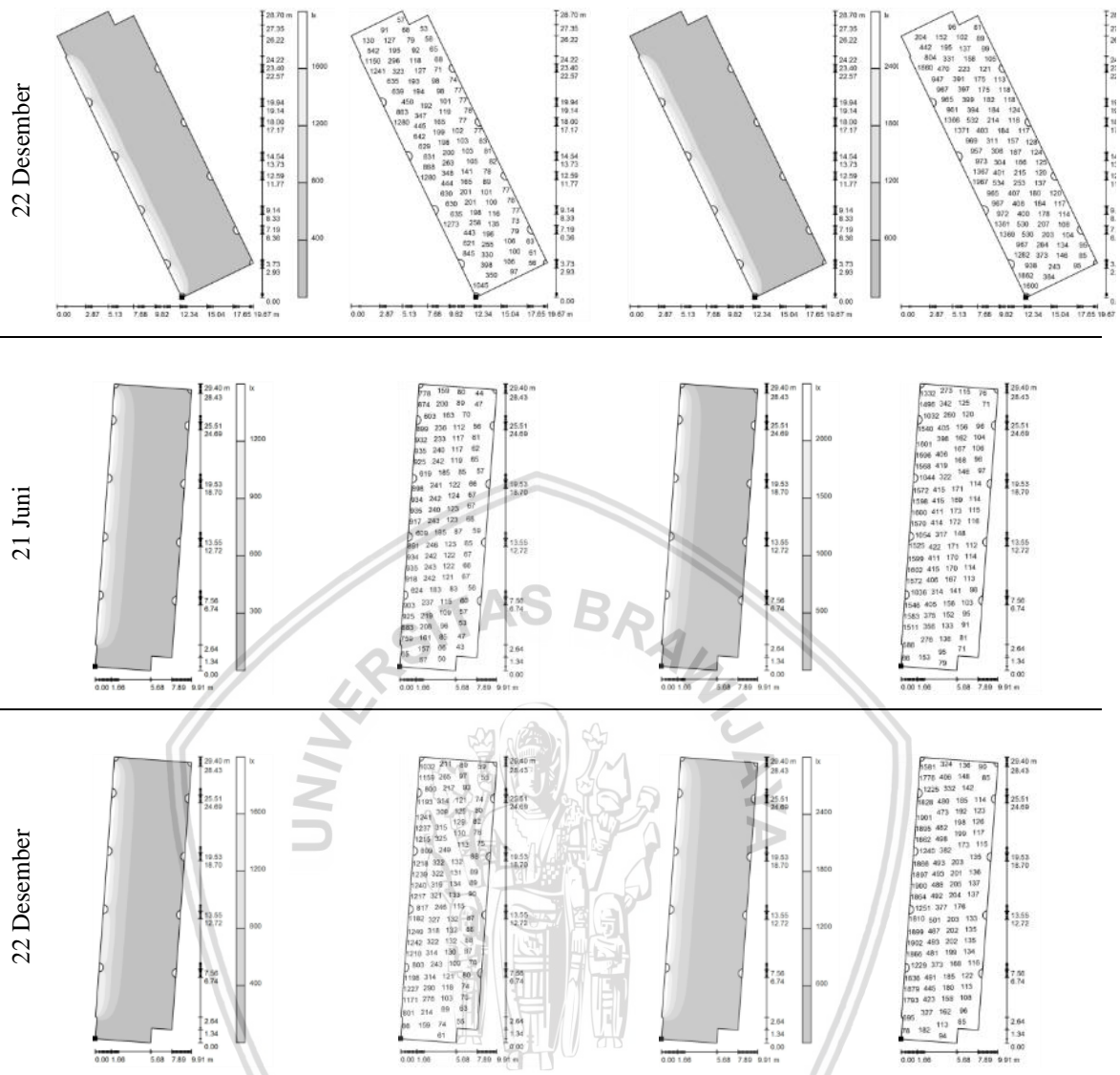


22 Desember



21 Juni





Dari data di atas, dapat diketahui besar rata-rata kuat terang dalam area sampel yang dibagi atas 4 area yakni area terluar, area tengah, area terdalam, serta area paling dalam seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 4. 47 Hasil simulasi kuat terang rata-rata pada pilihan kombinasi 2

Sampel	Waktu	Pukul	Rerata kuat terang cahaya ( <i>lux</i> )			
			Terluar	Tengah	Terdalam	Tepi Terdalam
1	21 Juni	08.00	721	336	145	95
		16.00	420	193	96	61
	22 Des	08.00	992	388	199	115
		16.00	552	256	133	82
2	21 Juni	08.00	770	315	104	83
	16.00		560	304	106	59
	22 Des	08.00	935	506	225	107

3	21 Juni	16.00	610	328	149	73
		08.00	484	153	100	68
	22 Des	16.00	828	382	153	102
		08.00	639	263	105	78
4	21 Juni	16.00	973	403	184	118
		08.00	619	242	122	67
	22 Des	16.00	1044	422	172	122
		08.00	817	322	132	89
		16.00	1095	488	205	136

Dapat dikatakan bahwa penggunaan pilihan alternatif kombinasi 2 yang mengatur proporsi bukaan serta masif, memberikan dampak pada kuat terang alami yang diterima oleh ruang-ruang sampel. Kondisi pencahayaan memiliki angka-angka yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi eksisting. Hasil simulasi baik pada bulan Juni maupun Desember di atas menunjukkan bahwa rata-rata area terluar memiliki nilai lux di atas standar, adapun pada area tengah hanya pada waktu tertentu. Dapat disimpulkan bahwa hanya seperempat area yang mampu menggunakan cahaya alami serta untuk bagian lainnya diperlukan penerangan untuk mencapai nilai kuat terang yang seharusnya yakni minimal 350 lux.

#### 4.3.2 Rekomendasi Teknis

##### 1. Sistem Pendinginan

Sistem pendingin yang sudah beroperasi selama 25 tahun akan diperkirakan mengalami penurunan kualitas pada tahun-tahun mendatang. Sehingga diperkirakan kualitas pendinginan juga akan menurun dan akan diperlukan adanya pendingin-pendingin tambahan untuk mengimbangi penurunan tersebut. Serta maintenance atau biaya operasional yang besar. Secara usia mesin tersebut sebaiknya dipertimbangkan untuk diganti dengan sistem pendingin sentral dengan teknologi terkini yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi.

Selain pergantian, pengaturan ulang peletakkan difuser juga patut dipertimbangkan guna mengoptimalkan persebaran udara dingin. Sistem pengkondisian udara yang cerdas juga akan membantu pengoperasian secara mandiri sehingga kebutuhan pendinginan serta penghematan energi dapat dicapai.



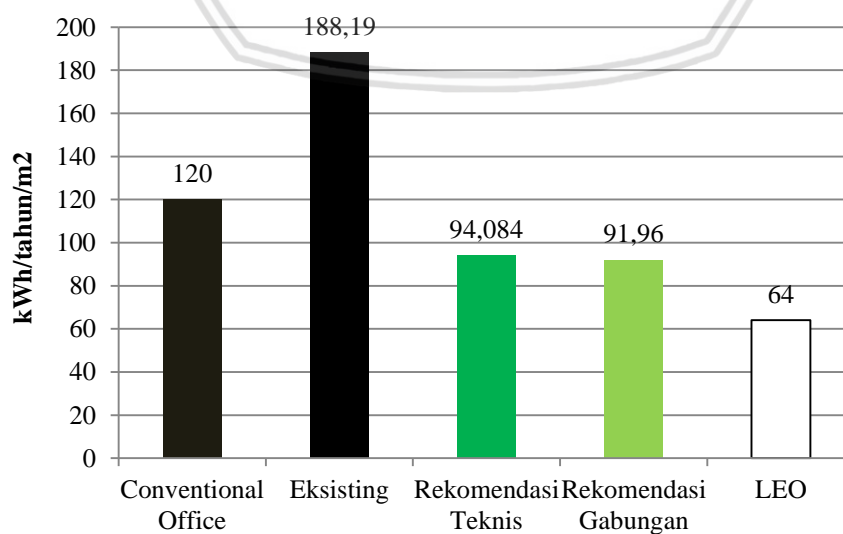
Teknologi pendingin terkini dengan sistem terbaru dan hemat energi adalah pendingin dengan sistem VRV (*Variable Refrigerant Volume*). Sistem ini bahkan dikenal dengan sistem pendingin terancang dengan fitur pintar yang dikendalikan oleh CPU. Sistem ini mampu memberikan nilai penghematan mencapai 50% dari pendingin conventional pada umumnya.

Dengan perhitungan asumsi penghematan yang mencapai 50%, maka asumsi nilai energi yang dikonsumsi adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Beban pendinginan} &= \frac{50}{100} \times 2.070.785 \text{ kWh/tahun} \\ &= 1.035.392,5 \text{ kWh/tahun} \\ \text{IKE} &= \frac{1.035.92,5}{11.005} \text{ kWh/tahun/m}^2 \\ &= 94,084 \text{ kWh/tahun/m}^2\end{aligned}$$

Apabila digabungkan dengan performa selubung bangunan pada rekomendasi sebelumnya, maka nilai konsumsi energi pada beban pendingin adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Beban pendinginan} &= 1.035.392,5 - (2,26\% \times 1.035.392,5) \\ &= 1.035.392,5 - 23.399,87 \text{ kWh/tahun} \\ &= 1.011.992,63 \text{ kWh/tahun} \\ \text{IKE} &= \frac{1.011.992,63}{11.005} \text{ kWh/tahun/m}^2 \\ &= 91,96 \text{ kWh/tahun/m}^2\end{aligned}$$



Gambar 4. 83 Perbandingan IKE hasil rekomendasi sistem pendinginan

## 2. Sistem Pencahayaan

Pada aspek ini penggunaan lampu TL mendominasi penggunaan konsumsi listrik dengan konsumsi daya 36W di tiap tabung lampu. Pola penggunaan lampu ini juga dinyalakan pada siang hari selama kegiatan bekerja berlangsung setiap harinya. Penggunaan lampu TL ini dapat dipertimbangkan dengan penggantian lampu LED seperti yang telah dilakukan pada lantai 8 untuk lebih menghemat penggunaan energi. Pertimbangan yang perlu diperhatikan lainnya adalah spesifikasi lampu yang sebisa mungkin menghasilkan kuat terang (lumen) sesuai dengan tingkat terang pada bidang kerja (lux) yang dibutuhkan. Dalam hal ini tingkat lux minimal yang dibutuhkan pada ruang kerja adalah 350 lux.

Merk yang digunakan pada rekomendasi adalah Phillips dengan ukuran lampu menyesuaikan rumah lampu yang ada yakni 1,2 m. Merk tersebut dipilih mengingat kecenderungan bangunan yang menggunakan merk tersebut untuk penerangan buatan. Adapun pemilihan spesifikasi lampu berdasarkan kuat terang yang dibutuhkan dijelaskan pada tabel berikut

*Tabel 4. 48 Pemilihan spesifikasi lampu berdasarkan kebutuhan lumen*

Lantai	Ruang	Luas (m <sup>2</sup> )	Jumlah TL	Jumlah Lampu/ TL	Lux	Lumens	Spesifikasi
Ground	Ruang Kerja	802,5	72	2	350	1.950,5	Master LEDtube 2500 lm
Podium Lt. G	Ruang Kerja	306,74	34	2	350	1.578,8	Master LEDtube 1600 lm
Lantai 1	Ruang Kerja	35	2	2	350	3.062,5	Master LEDtube 3400 lm
Podium Lt. 1	Ruang Kerja	253,7	14	2	350	3.171,2	Master LEDtube 3400 lm
Lantai 2	Selasar Auditorium	389,25	36	2	250	1.351,6	Master LEDtube 1600 lm
	Ruang Kerja	35	2	2	350	3.062,5	Master LEDtube 3400 lm
	Restoran	389,25	36	2	250	1.351,6	Master LEDtube 1600 lm
Podium Lt. 2	Auditorium	719,83	51	2	350	2.470	Master LEDtube 2500 lm
Lantai 3	Koridor	55,5	18	2	200	308,3	Master LEDtube 1600 lm
	Ruang Kerja	919,5	72	2	350	2.234,9	Master LEDtube 2500 lm
Lantai 4	Koridor	55,5	18	2	200	308,3	Master LEDtube 1600 lm
	Ruang Kerja	919,5	72	2	350	2.234,9	Master LEDtube 2500 lm
Lantai 5	Koridor	55,5	18	2	200	308,3	Master LEDtube 1600 lm
	Ruang Kerja	919,5	72	2	350	2.234,9	Master LEDtube 2500 lm
Lantai 6	Koridor	55,5	18	2	200	308,3	Master LEDtube 1600 lm

	Ruang Kerja	919,5	72	2	350	2.234,9	Master LEDtube 2500 lm
Lantai 7	Koridor	55,5	18	2	200	308,3	Master LEDtube 1600 lm
	Ruang Kerja	919,5	72	2	350	2.234,9	Master LEDtube 2500 lm
Lantai 8	Ruang Kerja	975	90	2	350	-	-
	Total Luas	11004,6					

Adapun perhitungan penggunaan energi pada rekomendasi penggantian lampu general dihitung secara rinci pada tabel berikut

Tabel 4. 49 Perhitungan konsumsi energi listrik lampu general dengan penggunaan lampu baru

Lantai	Ruang	Jumlah TL	Jumlah Lampu/ TL	Watt	Week day	Week end	Penggunaan per bulan (kWh)	Penggunaan per tahun (kWh)
Dasar	Ruang Kerja	72	2	16	13,5	0	622,08	7.464,96
Dasar (Anex)	Ruang Kerja	34	2	13	13,5	0	238,68	2.864,16
Lantai 1	Ruang Kerja	2	2	24	13,5	0	25,92	311,04
Lantai 1 (Anex)	Ruang Kerja	14	2	24	13,5	0	181,44	2.177,28
Lantai 2	Selasar Auditorium	36	2	13	13,5	0	252,72	3.032,64
	Ruang Kerja	2	2	24	13,5	0	25,92	311,04
	Restoran	36	2	13	13,5	0	252,72	3.032,64
Lantai 2 (Anex)	Auditorium	51	2	16	6	6	195,84	2.350,08
Lantai 3	Koridor	18	2	13	24	0	224,64	2.695,68
	Ruang Kerja	72	2	16	24	0	1.105,92	13.271,04
Lantai 4	Koridor	18	2	13	13,5		126,36	1.516,32
	Ruang Kerja	72	2	16	13,5	0	622,08	7.464,96
Lantai 5	Koridor	18	2	13	13,5	0	126,36	1.516,32
	Ruang Kerja	72	2	16	13,5	0	622,08	7.464,96
Lantai 6	Koridor	18	2	13	13,5		126,36	1.516,32
	Ruang Kerja	72	2	16	13,5	0	622,08	7.464,96
Lantai 7	Koridor	18	2	13	13,5		126,36	1.516,32
	Ruang Kerja	72	2	16	13,5	0	622,08	7.464,96
Lantai 8	Ruang Kerja	90	2		13,5	0	874,80	1.0497,60
	Total						6.994,44	73.781,68

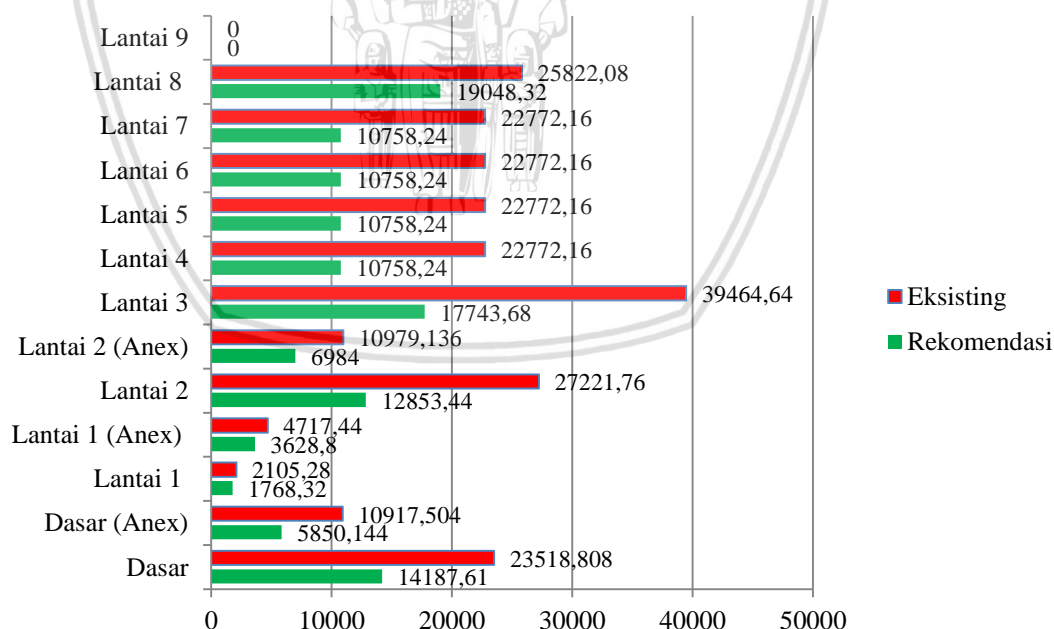
Jenis penerangan buatan dengan konsumsi tertinggi kedua adalah lampu aksen bangunan yang menggunakan lampu jenis merkuri 80W dengan lama penggunaan selama 24 jam perhari. Penerangan ini patut dipertimbangkan untuk menggunakan lampu yang lebih hemat energi. Adapun pemilihan serta

perhitungan energi lampu berdasarkan spesifikasi yang sesuai adalah sebagai berikut

Tabel 4. 50 Perhitungan konsumsi energi listrik lampu aksen bangunan dengan lampu baru

Lantai	Ruang	Jumlah TL	Jumlah Lampu/ TL	Lumens	Spesifikasi	Penggunaan per bulan (kWh)	Penggunaan per tahun (kWh)
Lantai 2	Kanopi	12	1	5000	TrueForce LED Public Mains 5000 lm	322,56	3.870,72
Lantai 8	Kanopi	21	1	5000	TrueForce LED Public Main 5000 lm	564,48	6.773,76
Total						887,04	10.644,48

Dari pergantian serta perhitungan lampu baik lampu general maupun lampu aksen bangunan, dapat diketahui bahwa konsumsi energi setelah pergantian lampu menjadi 125.097,272 kWh/tahun. Angka ini 47% lebih kecil dari konsumsi sebelumnya yang mencapai 235.836,3 kWh/tahun. Adapun besar konsumsi serta besar porsi masing-masing jenis penerangan buatan ditunjukkan pada Gambar berikut.

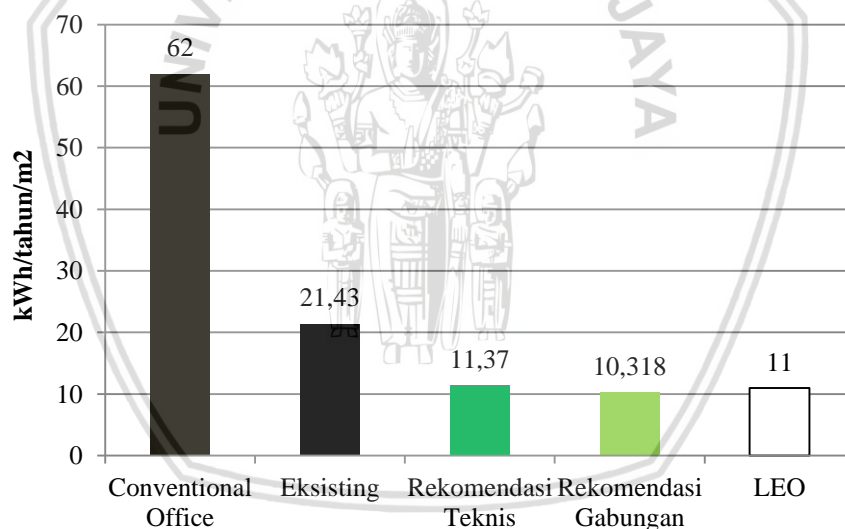


Gambar 4. 84 Perbandingan konsumsi energi sistem penerangan eksisting dan rekomendasi tiap lantai

$$\begin{aligned}
 \text{IKE} &= \frac{125.097,272}{11.005} \text{ kWh/tahun/m}^2 \\
 &= 11,37 \text{ kWh/tahun/m}^2
 \end{aligned}$$

Angka yang didapat di atas dihitung sebagaimana kondisi semula dimana lampu dinyalakan selama 13,5 jam. Pengolahan selubung yang telah dilakukan dapat membantu mengurangi konsumsi angka tersebut lebih kecil lagi jika penggunaan penerangan dikombinasi dengan penerangan alami. Adapun dari hasil rekomendasi arsitektural, pencahayaan buatan tidak diperluakan pada bagian sisi terluar ruang. Sehingga penggunaan lampu General dapat dimatikan seperempat bagian saja dengan lama durasi yang sama. Dengan asumsi terang langit selama 6 jam perhari, maka nilai perhitungan akhir konsumsi energi pada pencahayaan mencapai  $125.097,272 - 11.547,44 = 113.549,832$

$$\begin{aligned}\text{IKE Gabungan} &= \frac{113.549,832}{11.005} \text{ kWh/tahun/m}^2 \\ &= 10,318 \text{ kWh/tahun/m}^2\end{aligned}$$



Gambar 4. 85 Perbandingan IKE hasil rekomendasi sistem pencahayaan

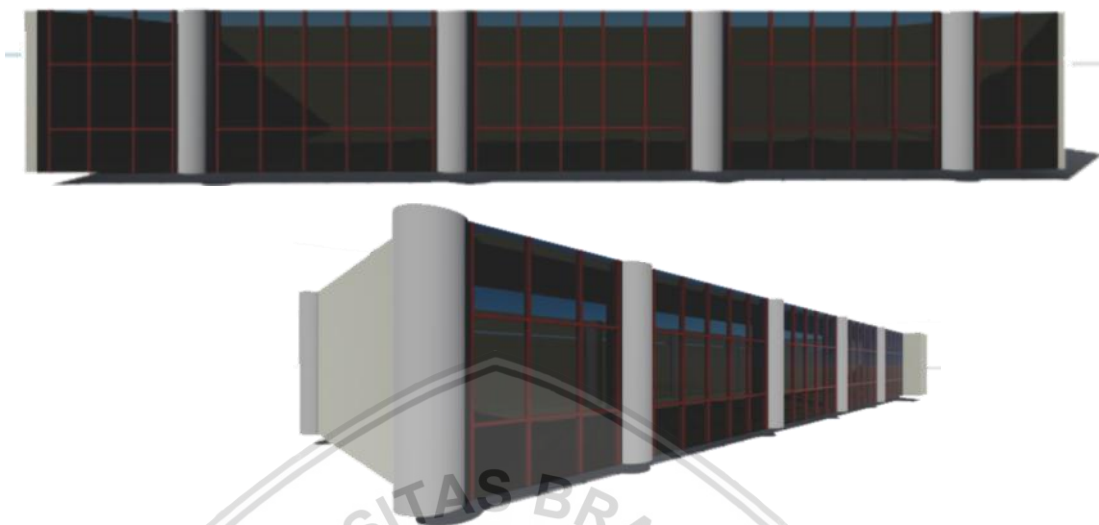
#### 4.4 Rekomendasi Terpilih dan Indeks Konsumsi Energi Akhir

Dari serangkaian langkah penelitian yang telah ditempuh baik dari proses audit energi, penjabaran profil, peluang penghematan serta analisa rekomendasi, dapat dipilih 1 rekomendasi desain akhir yang memuat pendekatan antara lain;

1. Penggantian Material Bidang Transparan



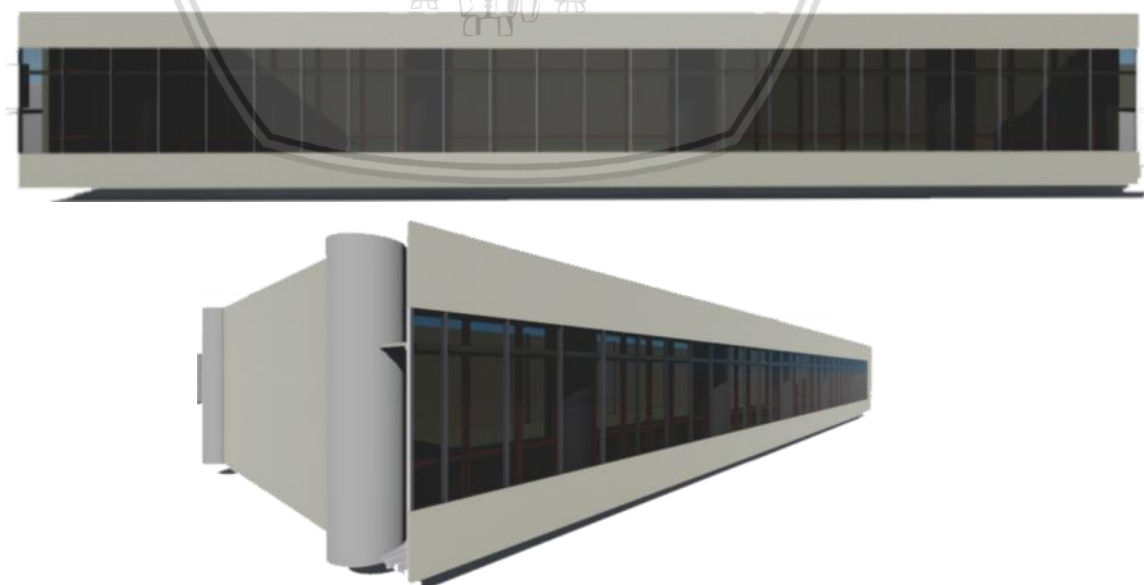
Pada langkah ini dilakukan penggantian material transparan eksisting menjadi material transparan yang menggunakan kaca sistem *double-glazing* dengan *coating* spectrally selective.



Gambar 4. 86 Visualisasi alternatif rekomendasi langkah 1

## 2. Pemasangan Selubung Ganda

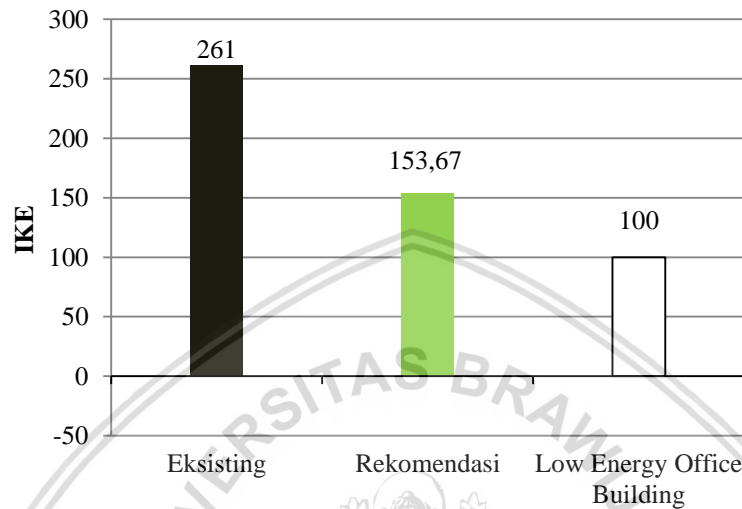
Pada langkah ini dilakukan pemasangan selubung ganda dengan jarak antar selubung adalah 90 cm. Selubung kedua terdiri dari material masif dan transparan dengan pengaturan komposisi berdasarkan masing-masing sampel.



Gambar 4. 87 Visualisasi alternatif rekomendasi langkah 2

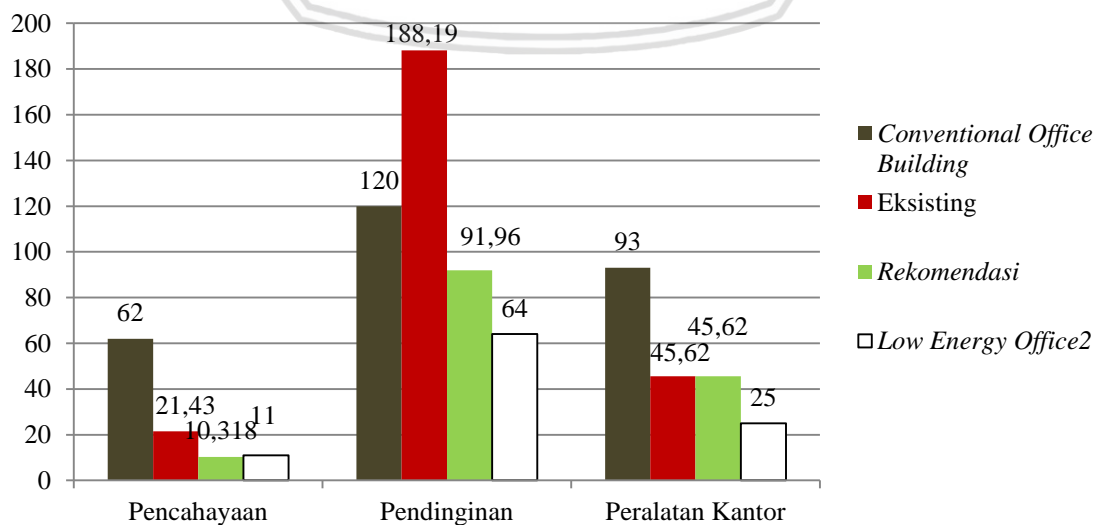
Adapun perhitungan Indeks Konsumsi Energi (IKE) akhir bangunan setelah serangkaian pendekatan penghematan yang telah dilakukan, didapat hasil sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{IKE} &= \frac{1.690.982,14}{11.004} \text{ kWh/m}^2/\text{tahun} \\ &= 153,67 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}\end{aligned}$$



Gambar 4. 88 IKE akhir rekomendasi PKE gedung kantor pusat PT Petrokimia

Dari perbandingan hasil IKE dengan beberapa standar, dapat diketahui bahwa indeks konsumsi energi pada gedung kantor pusat PT Petrokimia Gresik mampu mencapai 153,67 kWh/m<sup>2</sup>/tahun atau sudah berada di bawah standar baik secara internasional maupun nasional.



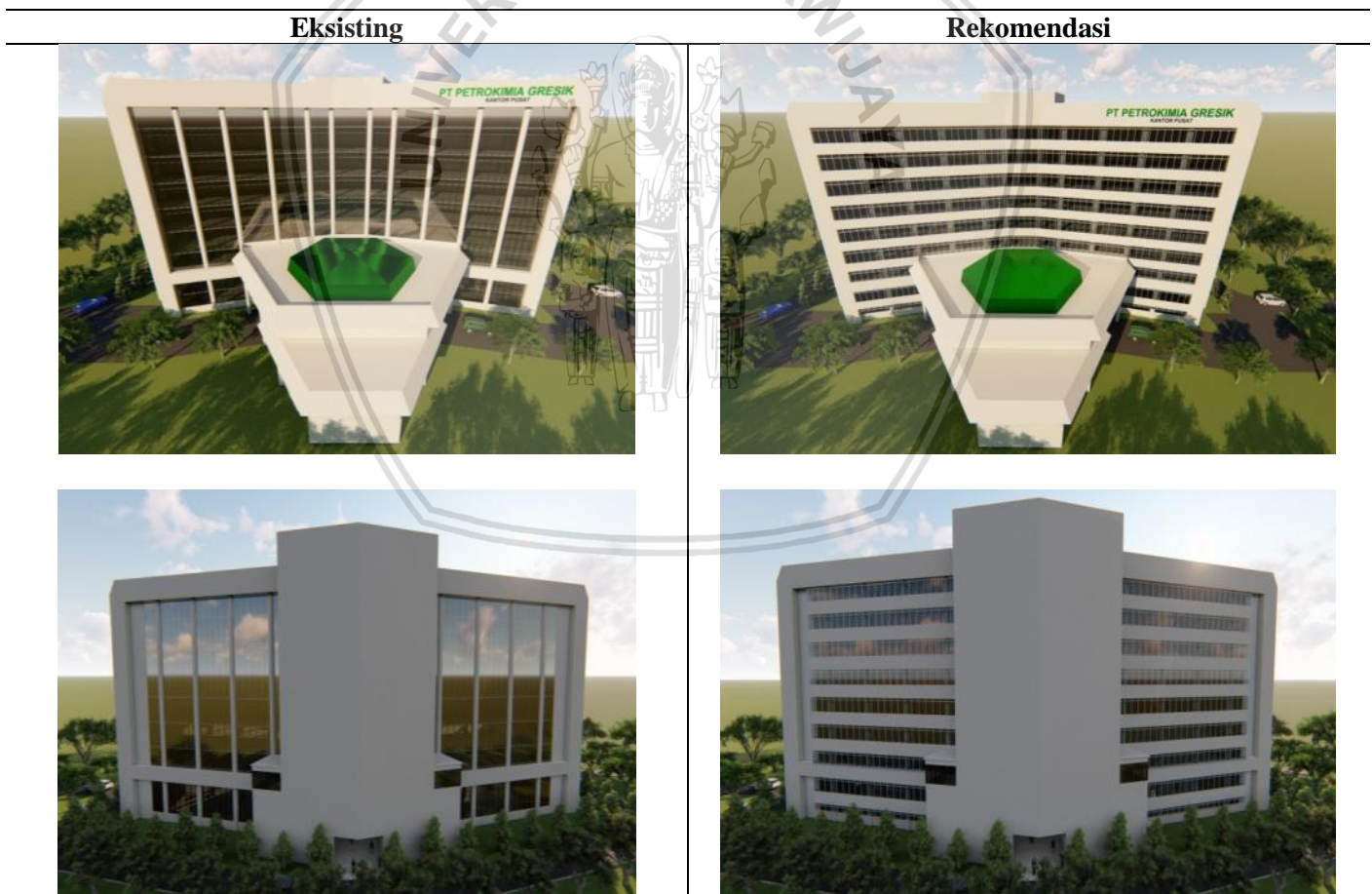
Gambar 4. 89 Perbandingan IKE akhir masing-masing aspek bangunan

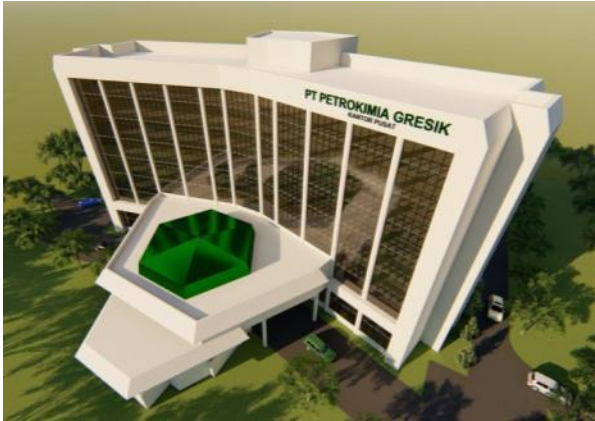
Nilai rupiah yang mampu dihemat dalam biaya operasional pada perhitungan akhir setelah dilakukan langkah penghematan adalah  $1.690.982,14 \times 1.800 = 3.043.767,85$  rupiah. Dalam perhitungan diketahui bahwa dalam nilai satuan biaya operasional yang sama jumlah biaya yang harus dikeluarkan bekisar pada nagka 3 miliar, angka ini 1 miliar lebih keil dibandingkan dengan nilai biaya semula yang harus dikeluarkan setiap tahun.

#### 4.5 Desain Akhir Rekomendasi

Penggantian maupun penambahan beberapa elemen bangunan memiliki dampak visual pada objek tersebut, begitu pula pada penelitian ini. Dalam kasus gedung kantor PT Petrokimia ini, rekomendasi yang terpilih adalah kombinasi material. Aapun hasil akhir visualisasi yang terjadi pada objek studi ditunjukkan pada gambar berikut

Tabel 4. 51 Perbandingan visualisasi akhir bangunan eksisting dengan bangunan rekomendasi







## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Tingginya kebutuhan energi mengharuskan langkah penghematan energi termasuk pada bangunan gedung komersil. Sebisa mungkin kegiatan di dalam bangunan meminimalkan penggunaan energi namun tetap memperhatikan kualitas kenyamanannya. Gedung PT Petrokimia Gresik memiliki orientasi dengan sisi bujur terpanjang menghadap ke arah barat dan timur, dimana pembagian *double loaded* mengakibatkan ruang-ruang kerja berada tepat pada selubung sisi tersebut. Pengolahan selubung bangunan menggunakan gaya modern dimana digunakan bukaan transparan dengan proporsi mencapai 80%. Tidak nampak adanya penggunaan media bayang sehingga sinar matahari langsung diterima dan diteruskan oleh selubung bangunan. Hal ini menjadikan tingginya temperatur dalam bangunan sehingga diperlukan adanya unit-unit pendingin tambahan selain pendingin sentral utama.

Melalui metode evaluatif serta audit energi, didapatkan data guna mendapatkan rekomendasi dalam permasalahan tersebut. Berdasarkan audit awal diketahui IKE Historis bangunan selama kurun waktu 2 tahun terakhir mencapai 210,535 kWh/m<sup>2</sup>/tahun. Adapun pada audit energi rinci didapat IKE yang mencapai 261 kWh/m<sup>2</sup>/tahun dimana angka tersebut berada di atas standar nasional maupun internasional. Aspek yang mendominasi penggunaan energi secara keseluruhan adalah sistem pendinginan dengan besar konsumsi total mencapai 2.070.785 kWh/tahun atau setara 188,19 kWh/year/m<sup>2</sup>.

Secara garis besar, Peluang Konservasi Energi yang didapat berdasarkan masukan observasi dan audit energi yang dilakukan antara lain;

1. Pertimbangan pengolahan selubunga bangunan guna menghalau panas yang menjadi beban utama pendinginan.
2. Pertimbangan untuk mengganti peralatan teknis elemen pengguna listrik berbasis hemat energi.
3. Pertimbangan mengatur operasional elemen visual maupun termal.

Melalui metode eksperimental, masukan yang didapat akan dipertimbangkan guna mendapatkan alternatif-alternatif solusi desain selubung bangunan. Langkah rekomendasi pengolahan selubung yang dapat dipertimbangkan adalah dengan mengolah material selubung transparan dengan sistem *double glazing* dengan pelapis *coating* Low-E dan Spectrally Selective. Kemudian mengolah pembayangan selubung dengan menerapkan



media bayang dengan pilihan overhang horizontal dan overhang kombinasi celah vertikal. Langkah pilihan terakhir yakni menghalau panas selubung utama dengan selubung ganda berbahan transparan dan masif.

Eksperimen yang dilakukan menggunakan simulasi *software* guna mengetahui kinerja terbaik dalam memberikan angka penghematan. Dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan 3 alternatif terbaik dari pilihan sebelumnya yakni penggantian material transparan dengan sistem *double glazing* ber-coating Spectrally Selective, Media bayang overhang kombinasi celah vertikal, dan selubung ganda bermaterial masif dan transparan. Selanjutnya alternatif terbaik tersebut dikombinasikan menjadi alternatif baru dimana hasil terbaik adalah kombinasi *double glazing* spectrally dengan selubung ganda. Alternatif ini mampu memberikan efisiensi penurunan mencapai 3,18% dengan rata-rata mencapai 2,26%.

Dalam pendekatan teknis, dilakukan kalkulasi dengan melakukan penggantian lampu general TL menjadi LED dikombinasikan dengan pengaturan selubung memberikan penghematan yang signifikan. IKE eksisting sebesar 21,43 kWh/tahun/m<sup>2</sup> berhasil diturunkan menjadi 10,318 kWh/tahun/m<sup>2</sup>. Penggantian mesin pendingin menggunakan system VRV memberikan penghematan yang besar ula. IKE eksisting sebesar 188,19 kWh/tahun/m<sup>2</sup> berhasil diturunkan menjadi 91,96 kWh/tahun/m<sup>2</sup>.

Dari keseluruhan langkah yang telah dilakukan, dihasilkan penghematan konsumsi energi dari 2.872.061 kWh/tahun menjadi 1.690.982,14 kWh/tahun. Angka IKE akhir setelah dilakukan rekomendasi adalah sebesar 153,67 kWh/m<sup>2</sup>/tahun, angka tersebut 41,1% lebih hemat dari sebelumnya 261 kWh/m<sup>2</sup>/tahun. Sedangkan biaya yang diperhitungkan sebagai biaya operasional menjadi Rp. 3.043.767,85. Angka tersebut ¼ lebih rendah dari pengeluaran sebelumnya.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang bisa dijadikan sebagai masukan dari penelitian ini antara lain;

1. Sepatutnya pengelola gedung mempertimbangkan pengelolaan selubung bangunan secara sederhana dan terjangkau guna menunjang kualitas yang seharusnya dengan tetap meminimalkan penggunaan energi.
2. Penelitian ini bisa menjadi referensi acuan berhemat enegi pada gedung kantor pusat PT Petrokimia serta sebagai acuan dalam operasional yang lebih memikirkan konservasi energi.

3. Pada penelitian selanjutnya mampu mendorong audit energi yang lebih rinci dengan langkah-langkah penghematan yang lebih variatif. Terutama terhadap pengolahan fisik bangunan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 6169:2011 *Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 6390:2011 *Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 6197:2011 *Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan*. Jakarta: BSN
- Brenda & Robert Vale. (1991). *Green Architecture Design for Sustainable Future*. London:Thames & Hudson.
- Departemen Pendidikan Nasional (2014). *Kamus Besar Bahasa Indonesia Cetakan ke delapan Belas Edisi IV*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama
- Hawkes, Dean. (2002). *Energy Efficient Building: Architecture, Engineering, and Environment*. London: W. W. Norton & Company
- Karyono, Tri Harso. (2010). *Green Architecture; Pengantar Pemahaman Arsitektur Hijau di Indonesia*. Jakarta: Djmbatan
- Kristensen, Poul E., CK Tang, Gregers Reimann, Ahmad Zairin Ismail. (2005). *Design Strategies for Energy Efficiency in Hot and Humid Climate : the Case of the ZEO Building*
- Kunjaranaayudhya, Indhava. (2005). *The design of Daylight-transporting Systems for Deep Space Illumination*, Faculty of Virginia Polythecnic and State University
- Marzuki, Achmad; Rusman. (2012). *Audit Energi pada Bangunan Gedung Direksi PT. Perkebunan Nusantara XIII (Persero)*. Vokasi Volume 8, Nomor 3, Oktober 2012  
ISSN 1693 – 9085
- Mediastika, Christina E. (2013). *Hemat Energi dan Lestari Lingkungan Melalui Bangunan*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Moore, Fuller. (1993). *Environmental Control System: Heating, Cooling, Lighting*. The United States: McGraw-Hill
- Mulyadi, Yadi. dan Rizki, Anggi. et al. (2013) *Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Efisiensi Penggunaan Energi di Gedung FPMIPA JICA universitas Pendidikan Indonesia*

- Rahayu, Nirita N. dan Suhendi, Dede. et al. (2016) *Audit Energi Listrik pada PT. X*
- Roy, Anish Kumar, A. Rahim Mahmood. (2005). Low Energy Offive Building In Putrajaya, Malaysia. *The 2005 World Sustainable Building Conference*, 27-29 September 2005. Tokyo.
- Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. (2016). *Indonesia Energy Outlook 2016*. Jakarta: SJDEN
- Septian, Derry. dan Prihartono, Joko. et al. (2013) *Audit Energi dan Analisa Peluang Hemat Energi pada Bangunan Gedung PT. X*
- Szokolay, Steven V. (2004). *Introduction to Architectural Sciende: The Basis of Sustainable Building*. MA: Architectural Press
- Yoong , Y. (2008). Pusat Tenaga Malaysia's Zero Energy Building. *FuturArc*. hlm. 64-67

